

*П.С. Пензев, В.И. Алёхин, А.В. Грицюк, О.В. Акимов*

## **АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ЛИТОГО БЛОК-КАРТЕРА АВТОМОБИЛЬНОГО ДИЗЕЛЯ 4ДТНА1 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНЖЕНЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*В данной публикации, посвященной проблеме исследования гидродинамических процессов заливки и кристаллизации отливки блок-картера 4ДТНА1 в форме, рассматривается анализ результатов инженерного моделирования с заданными параметрами в ИКС LVMFlow.*

Современное проектирование литых деталей ДВС с непрерывным конструкторско-технологическим взаимодействием является мощным инструментом при разработке новых деталей и модернизации существующих, а системы для инженерного моделирования технологических процессов производства и анализа теплового и напряженно-деформированного состояния литых деталей ДВС являются наиболее эффективными в рамках конструкторско-технологического проектирования.

Процессы проектирования, технологическая подготовка и производство литых деталей ДВС являются неотъемлемой частью системного подхода, заложенного в CALS-технологиях, т.е. совокупностью взаимосвязанных во времени процессов последовательного изменения состояния детали. В современных условиях для выпускаемой продукции главными требованиями являются качество, низкая себестоимость и минимальное время разработки новых изделий, которое может быть достигнуто с применением моделирования в рамках технологии конструкторско-технологического проектирования [1].

Созданный в ГП «Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению» автомобильный дизель 4ДТНА1 (4ЧНА-1 8,8/8,2) является уникальным продуктом научно-технических мощностей Харьковского региона в современной Украине [2]. Большинство литых деталей для дизелей транспортного и специального назначения изготавливается способом литья, при проектировании которого, в основу должны быть заложены технологические аспекты изготовления, а именно учтены различные литейные дефекты. Данные дефекты возникают из-за отсутствия методов и инструментария для оказания влияния на технологические режимы производства. В конструкторской документации и в ТУ, как правило, оговорены размеры и количество различных литейных дефектов, которые не допускаются в детали, а значит, такие дефекты оказывают влияние на ее качество и надежность.

Основной частью рассматриваемого дизеля является блок-картер, от качества которого будут

зависеть требуемые характеристики, заложенные на стадии проектирования. Требования к качеству и надежности литых деталей ДВС закладываются и выполняются, согласно техническим условиям, на стадии производства при использовании методик определения технологических дефектов [3].

Получение качественного блок-картера на этапе литья состоит из двух основных процессов: заливки расплавленного металла в форму и формирования литой детали в процессе фазового перехода при охлаждении и кристаллизации.

Анализ качества литого блок-картера первого автомобильного дизеля 4ДТНА1 (Слобожанский дизель) следует выполнить с применением универсальной технологии комплексного компьютерно-интегрированного проектирования литых деталей ДВС с применением инженерного моделирования тепловых, гидродинамических параметров литья. Моделирование литейных процессов, протекающих при изготовлении литой детали блок-картера, выполняется для выявления мест образования дефектов, определение их расположения и предположительного размера, а также для последующего анализа процесса фазового перехода при охлаждении отливки блок-картера в форме.

Для выполнения поставленной задачи была предложена следующая последовательность этапов, согласно методике моделирования тепловых и гидродинамических процессов литья:

- определение начальных условий;
- разработка 3D модели отливки на базе блок-картера дизеля 4ДТНА1 с технологической литниково-питающей системой;
- компьютерно-интегрированное моделирование литейных процессов производства литого блок-картера;
- анализ результатов моделирования;
- анализ характера заполнения формы металлом и расположения литейных дефектов.

В качестве исследуемой детали для компьютерно-интегрированного моделирования нами был выбран литой блок-картер дизеля 4ДТНА1. (рис. 1).

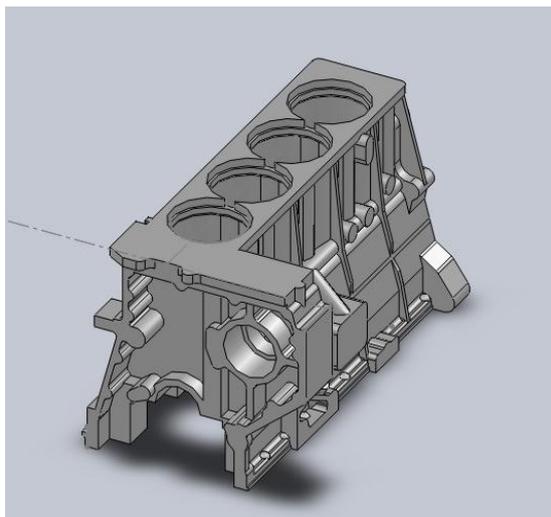


Рис. 1. Литой блок-картер дизеля 4ДТНА1

В ИКС SolidWorks была создана 3D-модель отливки блок-картера с технологической литниково-питающей системой (рис. 2). Созданная нами литниково-питающая система представляет собой систему «сужающегося типа» типа, которая обеспечивает своей конструкцией правильное и постепенное заполнение формы металлом во избежание попадания шлаковых включений в ее полость.

**Начальные и граничные условия моделирования.**

Граничные условия и исходные данные для моделирования задавались нами согласно следующей последовательности:

- 3D-импорт (конвертирование файла в формат \*.stl) и создание конечно-объемной модели;
- назначение материала для отливки и технологической оснастки, а также разделительного покрытия, наносимого на поверхности оснастки;
- назначение начальной температуры расплава и технологической оснастки, ее охлаждения различными теплоносителями;
- назначение общего времени цикла производства одной отливки.

С использованием модуля 3D-импорта, встроенного в ИКС NovaFlow, модель блок-картера с литниково-питающей системой, а также моделью и кокиля конвертировалась в конечно – объемную модель. Заданы оптимальные параметры ячеек, исходя из требования время расчета-адекватность результатов:

- размер ячейки – 3,7 мм;
- количество ячеек – 7 672 320 шт.

Назначение граничных условий для материала элементов отливки и технологической оснастки производился путем разбиения сборки на отдельные части, каждой из которой придается свой цвет:

- материал отливки блок-картера – АК5М ГОСТ 1583-93 (ДСТУ 2839-94);

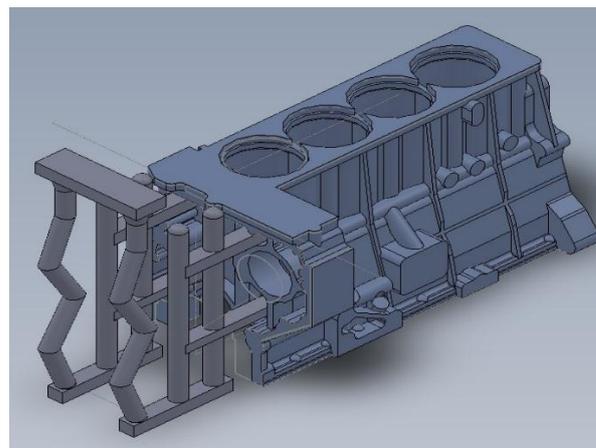


Рис. 2. 3D-модель отливки блок-картера с технологической литниково-питающей системой

- материал технологической оснастки – Сталь 45, СЧ20.
- на формообразующие части кокиля нанесена кокильная краска толщиной – 0,2мм, которая имеет теплопроводность  $\lambda=0,3$  Вт/м·К.

Для предотвращения попадания влаги на формообразующую поверхность и высокой разности температур при заливке расплавом, технологическая оснастка предварительно прогревалась до  $t=250\div 280$  °С.

Температура расплава перед заливкой в форму составляла – 710 °С.

Полученные результаты инженерного моделирования представлены графически в виде заполнения формы расплавом, направленности кристаллизации при охлаждении (переход от жидкой к твердой фазе) и отображения расположения газосадочных дефектов.

Характер заполняемости формы играет важную роль в создании благоприятных условий для направленной кристаллизации. Скорость движения расплава при заполнении формы в отдельно взятых частях не достигала критических значений  $V_{кр}<0,8$  м/с, с плавным заполнением литейной формы, без заплескиваний и с малыми завихрениями согласно требованиям [4] (рис. 3).

Результаты проведенного нами анализа показали, что движение расплава в форме можно считать удовлетворяющим следующим требованиям:

- проходя через элементы литниковой системы, расплав не приобретает турбулентный характер движения;
- заполнение формы происходит без превышения критических скоростей.

Анализ результатов компьютерно-интегрированного моделирования процесса охлаждения детали в технологической форме (кокиле) проводился в соответствии с параметрами:

- переход из жидкой в твердую фазу в процессе охлаждения детали в форме (рис.4);
- дефекты газоусадочного характера, выраженные критерием Niyama (рис.5).

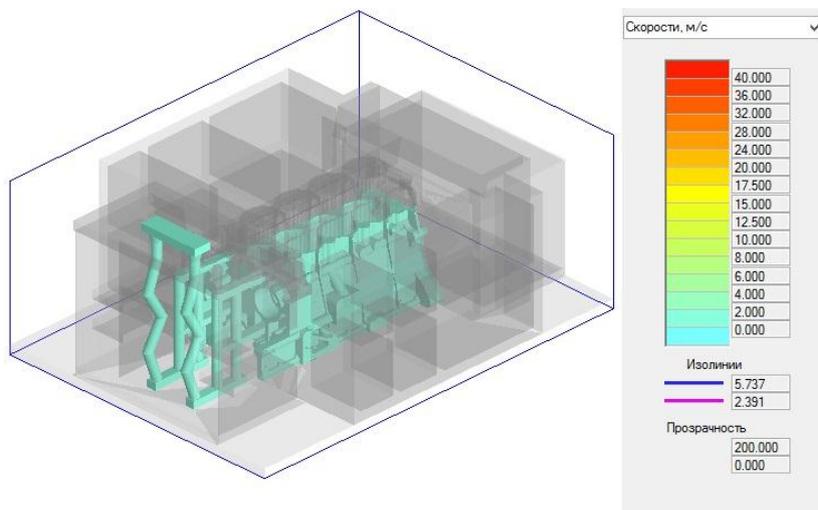


Рис. 3.Общий вид заполнения формы расплавом

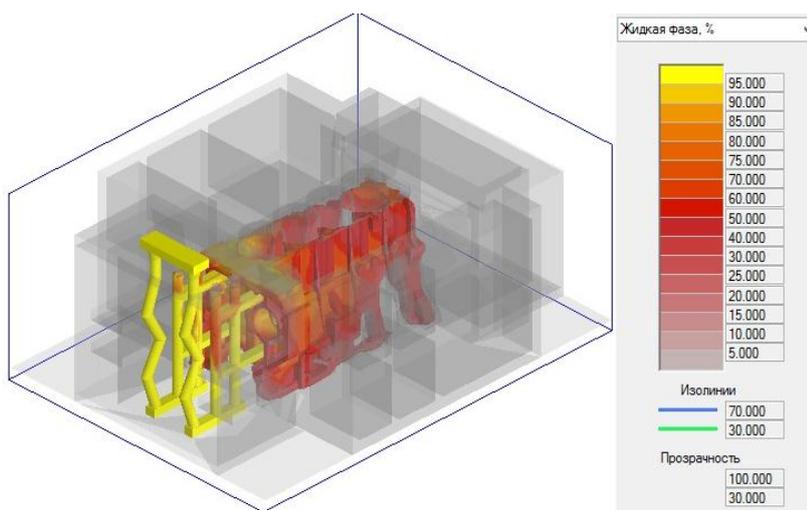


Рис. 4. Переход из жидкой в твердую фазу в процессе охлаждения детали в кокиле

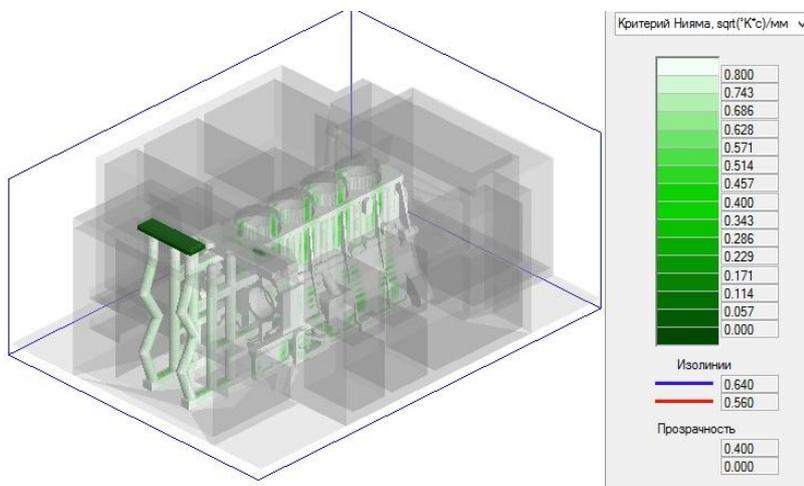


Рис. 5. Места расположения дефектов газоусадочного характера согласно критерию Niyama

Анализ динамики охлаждения отливки, фазового перехода, связанности зон, кристаллизующихся последними, позволили определить места возможного появления дефектов газоусадочного характера.

Окончательный вывод строится исходя из анализа результатов расположения дефектов, выраженных в ИКС NovaFlow критерием Niyama.

Критерием для определения мест расположения газоусадочных дефектов и их величины является Niyama, он использован нами для предсказания микропористости и газоусадочной пористости, достаточно большой для обнаружения ее методом радиографического тестирования. Этот критерий является надежным предсказателем пористости для простых отливок, но в случае отливок со сложной геометрией его использование требует более тщательного анализа результатов моделирования, поскольку многие факторы влияют на образование газоусадочной пористости.

Анализ мест расположения дефектов показал, что наиболее подвержены усадочным явлениям:

- кромки полостей цилиндров;
- верхняя плоскость в передней части блока, в местах креплений под головку;
- массивы бобышек по бокам блока.

Промоделированные дефекты позволяют сделать прогноз, что брак литого изделия может составлять 5-6%. Дальнейшие результаты исследований по борьбе с данными литейными дефектами будут отображены в последующих статьях.

Из результатов инженерного моделирования тепловых и гидродинамических процессов литья блок-картера следует, что дефекты газоусадочного характера могут являться концентраторами напряжений в конструктивных элементах детали, а значит могут оказать влияние на прочностные характеристики в процессе эксплуатации.

Разработанная 3D-модель отливки блок-картера с технологической литниково-питающей системой позволила создать конечно-объемную модель отливки и технологической оснастки, а также выполнить инженерное моделирование процессов литья в ИКС NovaFlow. Для литого блок-картера автомобильного дизеля 4ДТНА1 выполнен

анализ физических особенностей процессов заполнения и охлаждения отливки в форме, определены места расположения и размеры газоусадочных дефектов по критерию Niyama.

Результаты исследований позволили сформировать граничные и начальные условия для моделирования напряженно-деформированного состояния блок-картера в местах образования газоусадочной пористости.

#### Список литературы:

1. Акимов О.В. Научные основы и методы компьютерно-интегрированного ресурсного проектирования литейных блок-картеров ДВС / О.В. Акимов // Научно-технический журнал «Двигатели внутреннего сгорания». Харьков: НТУ «ХПИ» – 2008. – №1. – С. 120 – 124.
2. Техніко-економічне обґрунтування необхідності державної підтримки у виконанні інноваційно-інвестиційного проекту «Розроблення та впровадження у виробництво малолітражного автомобільного дизеля потужністю 100 – 175 к.с. подвійного призначення (Слобожанський дизель)» [Текст] : монографія / за ред. Ф. І. Абрамчука, О. В. Грицюка, І. А. Дмитрієва. – Харків : ХНАДУ, 2012. – 164 с.
3. Алехин В. И. Расчет влияния дислоцированных литейных дефектов усадочного характера на прочность литой детали поршня / В. И. Алехин, А. В. Белогуб, О. В. Акимов // Литейщик России. – Москва. – 2011. – №4. – С. 16 – 19.
4. Алехин В.И. Исследование влияния размеров литейных дефектов на напряженно-деформированное состояние поршня / В.И. Алехин, А.В. Белогуб, О.В. Акимов // Научно-технический журнал «Двигатели внутреннего сгорания». Харьков: НТУ «ХПИ» – 2011. – №2. – С. 99 – 103.

#### Bibliography (transliterated):

1. Akimov O.V. Nauchnyye osnovy i metody kompyuterno-integrirrovannogo resursnogo proektirovaniya lityih blok-karterov DVS / O.V. Akimov // Nauchno-tekhnicheskij zhurnal «Dvigateli vnutrennego sgoraniya». Harkov: NTU «HPI» – 2008. – №1. – S. 120 – 124.
2. Tehniko-ekonomichne obgruntuвання neobhIdnosti derzhavnoyi pidtrimki u vikonanni innovatsiyno-investitsiynogo projektu «Rozroblennya ta vprovadzhennya u virobnitstvo malolitrazhnogo avtomobilnogo dizelva potuzhnistyu 100 – 175 k.s. podvlynogo pryznachennya (Slobozhanskiy dizel)» [Tekst] : monografiya / za red. F. I. Abramchuka, O. V. Grytsyuka, I. A. Dmitrieva. – Harkiv : HNADU, 2012. – 164 s.
3. Alyokhin V. I. Raschet vlijaniya dislocirovannyh litejnyh defektov usadochnogo haraktera na prochnost' litoj detali porshnja / V. I. Alyokhin, A. V. Belogub, O. V. Akimov // Litejnik Rossii. – Moskva. – 2011. – №4. – S. 16 – 19.
4. Alyokhin V.I. Issledovanie vlijaniya razmerov litejnyh defektov na naprjazhenno-deformirovanoe sostojanie porshnja / V.I. Alyokhin, A.V. Belogub, O.V. Akimov // Nauchno-tekhnicheskij zhurnal «Dvigateli vnutrennego sgoraniya». Harkov: NTU «HPI» – 2011. – №2. – S. 99 – 103.

Поступила в редакцию 19.06.2015 г.

**Пензев Павел Сергеевич** – аспирант кафедры «Литейное производство» Национального технического университета «ХПИ», Харьков, Украина, e-mail: djpenzev@gmail.com.

**Алехин Виталий Игоревич** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Литейное производство» Национального технического университета «ХПИ», Харьков, Украина,, e-mail: alyohin.vitalik@gmail.com.

**Акимов Олег Викторович** – докт. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Литейное производство» Национального технического университета «ХПИ», Харьков, Украина,, e-mail: olak@kpi.kharkov.ua.

**Грицюк Александр Васильевич** – доктор техн. наук, заместитель генерального конструктора по НИР - главный конструктор Государственного предприятия "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению", Харьков, Украина, e-mail: dthkhd@ukr.net.

**АНАЛІЗ ЯКОСТІ ЛИТОГО БЛОК-КАРТЕРА АВТОМОБІЛЬНОГО ДИЗЕЛЯ 4ДТНА1 З  
ВИКОРИСТАННЯМ ІНЖЕНЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

*П.С. Пензев, В.І. Альохін, О.В. Грицюк, О.В. Акімов*

У даній публікації, присвяченій проблемі дослідження гідродинамічних процесів заливки і кристалізації виливка блок-картера 4ДТНА1 у формі, розглядається аналіз результатів інженерного моделювання із заданими параметрами в LVMFlow.

**ANALYSIS OF THE QUALITY OF THE CAST CRANKCASE AUTOMOBILE DIESEL 4DTNA1 USING  
ENGINEERING SIMULATION**

*P.S. Penzev, V.I. Alyokhin, A.V. Gritsyk, O.V. Akimov*

In this publication, research devoted to the problem hydrodynamic processes of filling and solidification casting crankcase 4DTNA1 in the form, considered analysis of engineering simulation to the settings in LVMFlow.

УДК 621.331

*Л. П. Клименко, А.Е. Головки, В. И. Андреев, Л. М. Дыхта, С. Н. Соловьёв*

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ  
ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ГИЛЬЗЫ ЦИЛИНДРА**

*В статье рассмотрены результаты исследования гильзы двигателя с воздушным охлаждением. Исследования проводились с помощью программного обеспечения SolidWorksSimulation. С помощью данной программы визуализировали распределение напряжений, изменение формы, распределение температур, возникающих в гильзе при её эксплуатации. На основании полученных данных выбран режим термоциклирования гильзы. Представлены микроструктуры чугуна до проведения закалки и после проведения одного цикла закалки.*

**Введение**

Двигатели с воздушным охлаждением широко используются в строительной технике, на тракторах, в сельскохозяйственных машинах, в автомобилестроении.

Одной из актуальных задач, стоящих перед ремонтными предприятиями, является продление срока службы изношенных деталей. Экономическая целесообразность решения данной проблемы обуславливается возможностью повторного использования около 70 % изношенных и поврежденных деталей. Восстановление детали двигателя обеспечит экономию металла, топлива, энергетических ресурсов, а также рациональное использование трудовых ресурсов и охрану окружающей среды. Для восстановления работоспособности изношенной детали потребуется в 5-8 раз меньше технологических операций по сравнению с изготовлением новой детали.

**Постановка задачи**

В большинстве случаев происходит изменение в сопряжениях – нарушение заданных зазоров в подвижных соединениях (пары трения поршневое кольцо-гильза).

Пути по повышению износостойкости рабочей поверхности гильзы цилиндра двигателя с воздушным охлаждением:

1. В процессе изготовления гильзы цилиндра – термообработка внутренней поверхности гильзы.

2. Восстановление рабочей поверхности в результате эксплуатации – расточка и хонингование или наплавка.

Наплавка по сравнению с другими способами восстановления дает возможность получать на поверхности деталей слой необходимой толщины и нужного химического состава, высокой твердости. Однако наплавка связана со значительными трудностями. Это вызвано тем, что металл переходной зоны склонен к образованию твердых хрупких структур (карбидной эвтектики ледебурита и закалочной структуры мартенсита) и возникновению в них трещин вследствие больших скоростей охлаждения при наплавке. Для предупреждения образования ледебурита в сером чугуне скорость его остывания не должна превышать 10-11°С/сек.

Приведенные выше способы восстановления гильзы цилиндра затруднены на машиностроительных заводах Украины из-за отсутствия оборудования и дороговизны наплавочных материалов.

Нами было предложено восстановление внутренней (зеркальной) поверхности гильзы цилиндра за счет роста чугуна, т.е. оптимизация режима термоциклирования с таким учетом, чтоб произошло увеличение внутреннего диаметра до номинального без существенного снижения прочности гильзы.

Рост чугуна представляет собой необратимое увеличение объема чугунных деталей при нагреве до высоких температур, и особенно при повторных