

винка стержневого ящика разворачивается плоскостью разъема вниз (на угол 90°). Затем механизм съема поднимает ленточный транспортер, который принимает стержень после протяжки его из подвижной половинки стержневого ящика. После опускания механизма съема в исходное положение ленточный транспортер выносит стержень за пределы машины на приемный лоток. Освободившаяся от стержня подвижная половинка стержневого ящика механизмом сборки-протяжки разворачивается и подводится к неподвижной половинке стержневого ящика, оставляя зазор, необходимый для осуществления обдува стержневого ящика. В зазор между половинками стержневого ящика вводится механизм обдува. После обдува половинки стержневого ящика собираются и ящик готов к очередному надуву стержневой смесью. При необходимости обдув половинок стержневого ящика может осуществ-

ляться вручную при помощи обдувочного пистолета. Опрыскивание разделительным покрытием осуществляется вручную.

Работа машины может производиться в наладочном режиме – пооперационно, нажатием кнопок соответствующих команд на пульте управления; в полуавтоматическом режиме, когда включением тумблера «цикл» и выключением его совершается один цикл работы машины в автоматическом режиме. Технические данные и характеристики машины приведены в табл. 1.

По своим техническим характеристикам разработанная стержневая малогабаритная машина соответствует параметрам лучших импортных аналогов. На рис. 2 приведен общий вид стержневой машины.

На рис. 3 приведен общий вид стержневой машины мод. 4749Б1К2, а в табл. 2 ее основные технические характеристики.

В.В. Турищев, А.С. Леднев (ООО «ПроМодель», г. Воронеж, lvmflow@lvmflow.ru),
С.В. Несветаев, М.А. Чернова (ОАО «ВМП «АВИТЕК», г. Киров)

Современные технологии в литье под низким давлением

Сущность литья под низким давлением (ЛНД), как разновидности литья под регулируемым давлением, заключается в том, что заполнение полости формы расплавом и затвердевание отливки происходит под действием избыточного давления воздуха или инертного газа. При этом для подъема расплава и заполнения формы требуемое избыточное давление менее 0,1 МПа, чем и объясняется использование термина «низкое давление» (рис. 1). При ЛНД отливку изготавливают в кокиле, песчаной или комбинированной форме (кокиль и песчаные стержни), а также в керамической или оболочковой форме [1].

Технология ЛНД позволяет провести заполнение формы для протяженных тонкостенных отливок, в широких пределах регулировать скорость заполнения формы расплавом, изменять продолжительность заполнения отдельных участков формы отливок сложной

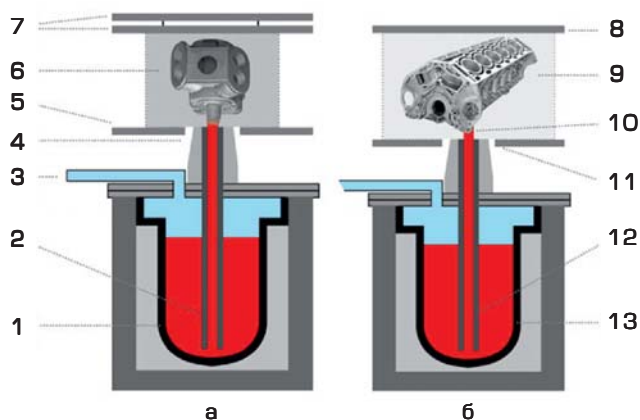


Рис. 1. Принципиальная схема ЛНД: **а** – в кокиль; **б** – в песчаную форму. **1, 13** – печь с электронагревом; **2, 12** – металлопровод; **3** – газообразная среда под давлением; **4** – проставка; **5** – литейный стол; **6** – кокиль; **7** – подвижная прижимная плита; **8** – прижим (при необходимости); **9** – открытая или закрытая песчаная форма; **10** – интегрированная литниковая система; **11** – плита машины

Описан процесс изготовления ЛНД сложных фасонных и, особенно, тонкостенных отливок из алюминиевых и магниевых сплавов с использованием системы автоматизированного моделирования литейных процессов LVMFlow CV.

Ключевые слова: литье под низким давлением, система автоматизированного моделирования литейных процессов.

Turischev V.V., Lednev A.S., Nesvetaev S.V., Chernova M.A. Modern technologies in low-pressure casting.

The process of low-pressure casting manufacturing complex shapes and, especially thin-walled castings made of aluminum and magnesium alloys using computer-aided simulation of casting processes LVMFlow CV is described in this article.

Key words: low-pressure casting, computer-aided simulation of casting processes.

конфигурации с переменной толщиной стенки с целью управления процессом теплообмена между расплавом и формой, добиваясь рациональной последовательности затвердевания отдельных частей отливки.

Основными преимуществами процесса ЛНД являются: автоматизация трудоемкой операции заливки формы; возможность регулирования скорости потока расплава в полости формы изменением давления в камере установки; улучшение питания отливки; снижение расхода металла на литниковую систему.

Основные недостатки: невысокая стойкость части металлопровода, погруженной в расплав, что затрудняет использование способа литья для сплавов с высокой температурой плавления; сложность системы регулирования скорости потока расплава в форме, вызванная динамическими процессами, происходящими в установке при заполнении ее камеры воздухом; нестабильностью утечек воздуха через уплотнения;

понижением уровня расплава в установке по мере изготовления отливок; возможность ухудшения качества сплава при длительной выдержке в тигле установки; сложность эксплуатации и наладки установок [2].

Преимущества и недостатки способа определяют рациональную область его применения и перспективы использования. Литье под низким давлением наиболее широко применяют для изготовления сложных фасонных и, особенно, тонкостенных отливок из алюминиевых и магниевых сплавов в автомобилестроении, авиа- и космической промышленности, простых отливок из медных сплавов и сталей в серийном и массовом производстве (рис.2).

Одним из лидеров в области производства отливок методом ЛНД в нашей стране является предприятие ОАО «ВМП «АВИТЕК», г. Киров – старейшее авиационное предприятие России, которое выпускает зенитные управляемые ракеты, уникальные катапультные кресла для боевых самолетов, грузоподъемные механизмы и системы для авиации, а также большой спектр товаров народного потребления и гражданской продукции. Предприятие работает по замкнутому производственному циклу, начиная с литейного и кузнечно-прессового производства и заканчивая сборкой готовых изделий и их испытанием. Сегодня гордостью предприятия является Литейно-технологический центр по изготовлению высококачественных отливок оборонного, авиационного и гражданского назначения для предприятий, входящих в состав Концерна ПВО «Алмаз-Антей» и сторонних организаций. Литейно-технологический центр оснащен самым современным программным обеспечением и оборудованием для изготовления литейных форм и

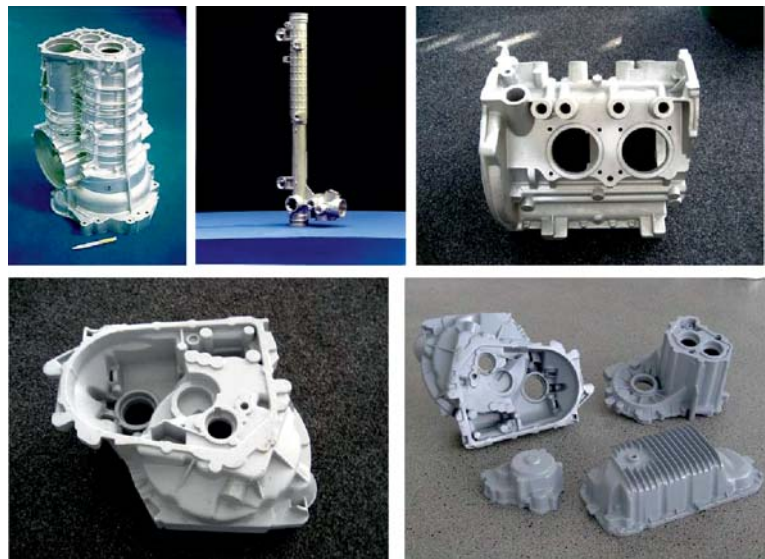


Рис. 2. Примеры отливок, изготавливаемых ЛНД

заливки металла, причем весь процесс разработки технологии литья и ее реализации «в металле» завязан в единую цепочку сквозного проектирования (рис.3):

В центре данной цепочки стоит система автоматизированного моделирования литейных процессов (САМ ЛП) LVMFlow CV, предназначенная для проведения анализа литейной технологии и ее корректировки в кратчайшие сроки. САМ ЛП LVMFlow CV основана на методе контролируемого объема (МКО) и позволяет:

- проследить заполнение формы металлом;
- рассчитать температурные поля отливки и формы;
- произвести расчет поля жидкой фазы;
- рассчитать поле скоростей;
- рассчитать конвективные потоки;

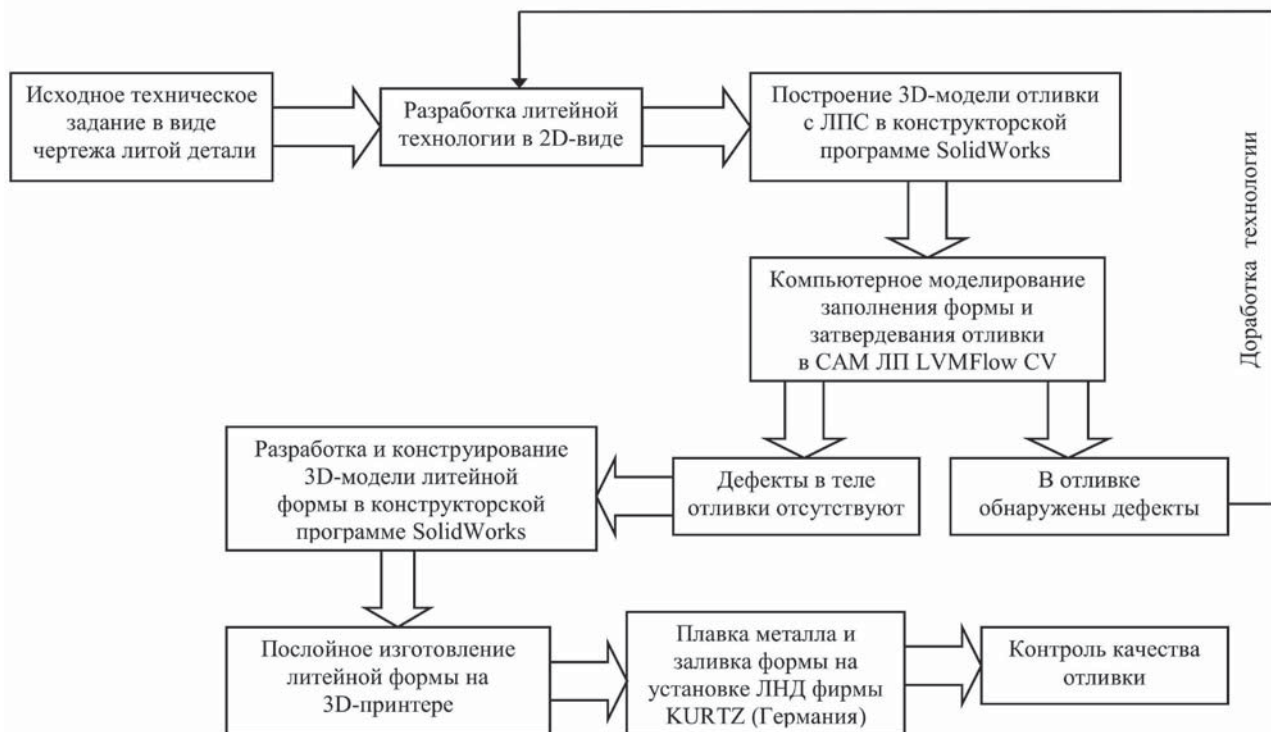


Рис. 3. Сквозная цепочка проектирования литейной технологии, внедренная на предприятии

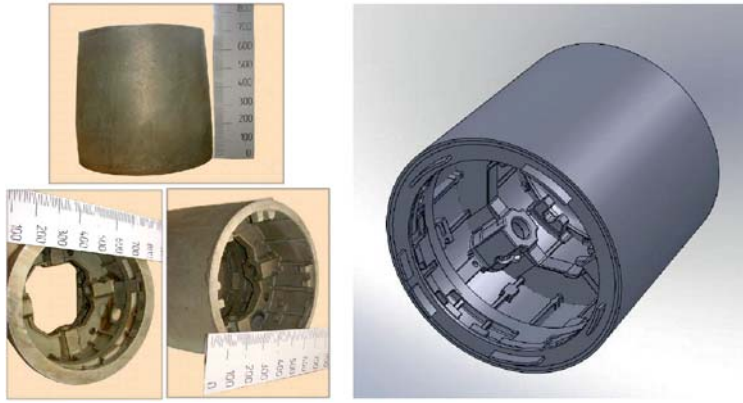


Рис. 4. 3D-модель отливки, изготавливаемой методом литья под низким давлением

- рассчитать поле давлений;
- оценить возможные дефекты в отливке;
- рассчитать напряжения и деформацию отливки;
- оценить работу фильтров;
- учесть многократное использование формы;

- разработать технологию ЛПД;
- рассчитать размеры прибыли и литниково-ливочной системы;
- учесть поведение газа в полости формы при заполнении;
- прогнозировать захват воздуха в процессе заливки;
- подобрать размеры изо- и экзотермических оболочек для прибыли.

Сложность и специфичность процесса ЛНД приводят к тому, что уже на этапе разработки литейной технологии инженер-литейщик сталкивается со следующими трудностями:

- выбор оптимальной литниково-питающей системы (ЛПС);
- выбор температуры заливки;
- выбор оптимальной скорости течения расплава;
- предотвращение колебания скоростей потока в процессе заливки;
- подбор статического давления и времени выдержки при нем по окончании заливки формы;

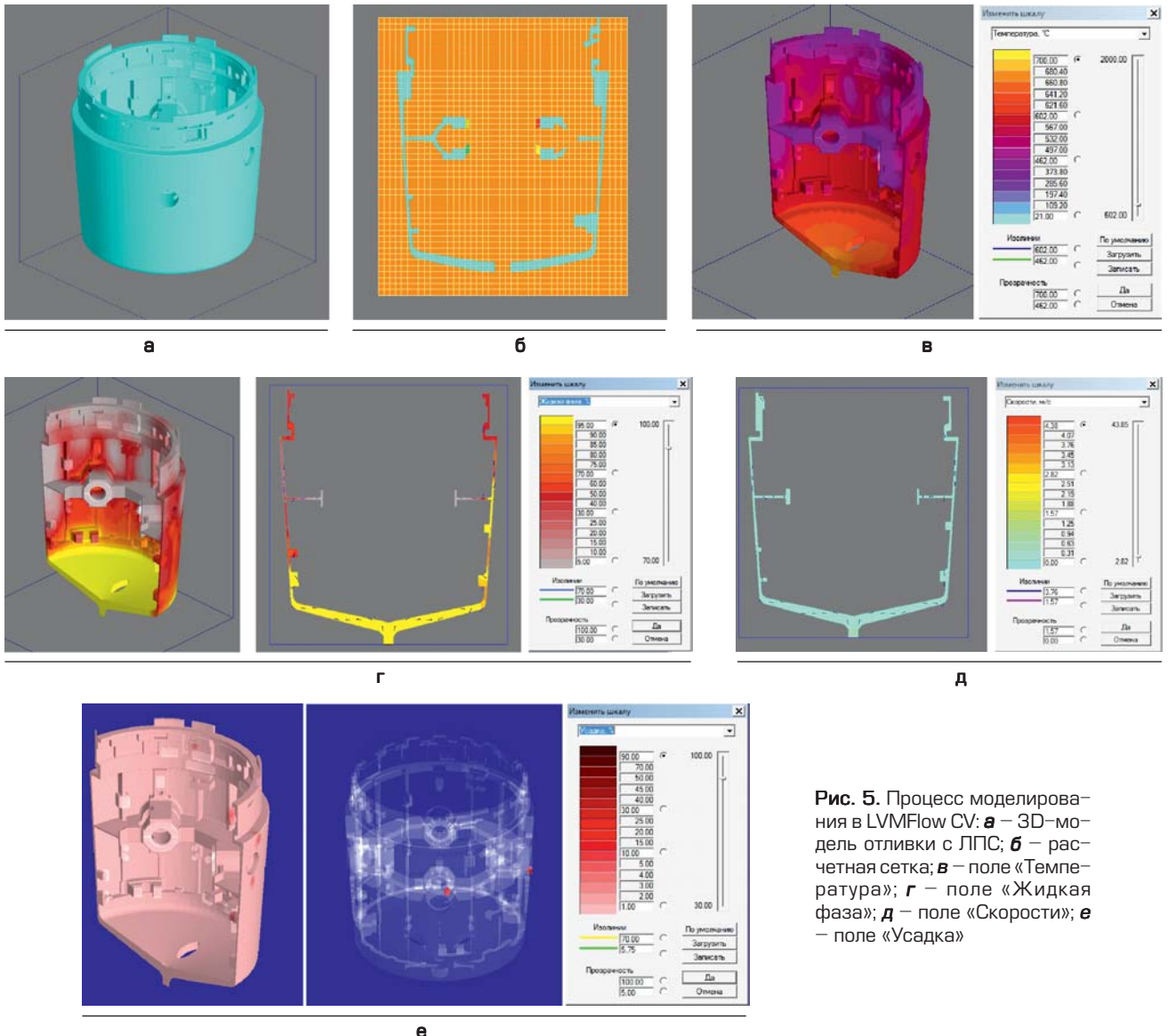


Рис. 5. Процесс моделирования в LVMFlow CV: **а** – 3D-модель отливки с ЛПС; **б** – расчетная сетка; **в** – поле «Температура»; **г** – поле «Жидкая фаза»; **д** – поле «Скорости»; **е** – поле «Усадка»

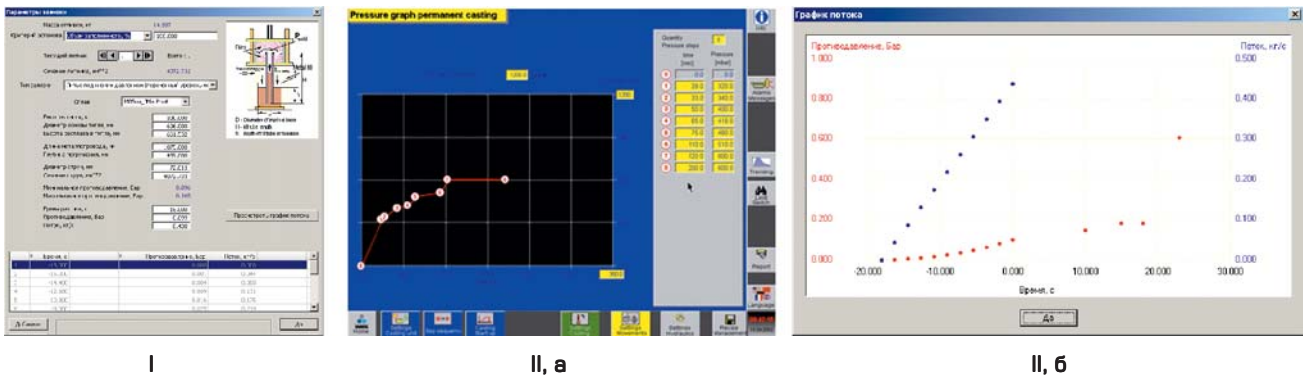


Рис. 6. Опция литья под низким давлением в LVMFlow CV: I – функция «параметры заливки», II – диаграмма «давление–время»: а – на пульте управления установкой ЛНД; б – в LVMFlow CV

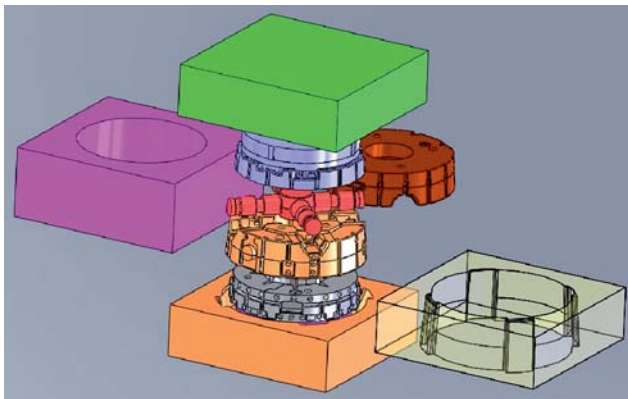


Рис. 7. Этап проектирования литейной формы

- предотвращение механического пригара;
- конструирование вентиляционной системы.

При разработке литейной технологии классическим методом «проб и ошибок» решение технологических трудностей, описанных выше, существенно замедляет процесс освоения нового изделия и в силу специфики способа ЛНД, приводит к большим материальным затратам. В связи с этим на предприятии была поставлена задача ускорения процесса разработки литейной технологии и выбран способ ее решения – компьютерное моделирование. Предприятием протестировано несколько программ компьютерного моделирования литейных процессов. Самым удобным инструментом для решения этой задачи является САМ ЛП LVMFlow CV, в которой специально для этого была реализована опция литья под низким давлением, позволяющая ускорить разработку оптимальной ЛПС, выбрать скорость заливки и статическое давление, подобрать температуру заливки, сконструировать вентиляционную систему формы и др.

Сущность внедренной на производстве цепочки проектирования технологии и изготовления отливок, представленной на рис. 3, состоит в следующем. При поступлении нового заказа на литье исходным заданием является двумерный чертеж литой детали. Разработка литейной технологии начинается традиционным способом – исходя из опыта и знаний в области литейного производства, инженер-технолог разрабатывает ЛПС непосредственно на чертеже отливки, подбирает рекомендуемые техно-



Рис. 8. Общий вид принтера для трехмерной печати

логические параметры литья и т.д. Затем, используя систему твердотельного моделирования SolidWorks, воспроизводит разработанную ЛПС в виде 3D-модели (рис.4).

Имея 3D-модель отливки с ЛПС и технологические данные, необходимые для ее изготовления методом ЛНД, в САМ ЛП LVMFlow CV производится компьютерное моделирование заливки формы, затвердевания и охлаждения отливки (рис. 5). При этом LVMFlow CV учитывает большое количество таких технологических особенностей ЛНД, как (рис.6):

- конфигурация и емкость тигля;
- размеры металлопровода;
- параметры «разгона» (поведение расплава в металлопроводе до начала заливки);
- конфигурация диаграммы «давление–время»;
- статическое давление и время выдержки при нем после окончания заливки.

По завершении данного этапа по результатам компьютерного моделирования делается вывод об



Рис. 9. Готовый стержень, полученный на установке селективного отверждения



а б

Рис.10. Установка литья под низким давлением фирмы KURTZ (а), извлечение отливки из формы (б)

эффективности разработанной технологии: если в отливке обнаружены литейные дефекты (раковины, пористость, трещины и т.д.), то необходимо произвести доработку технологии; если же в теле отливки дефекты отсутствуют, то инженер-конструктор-технолог переходит к следующему этапу: проектированию литейной формы (рис.7).

Используя проработанную в LVMFlow CV 3D-модель отливки с ЛПС, в конструкторской программе SolidWorks разрабатывается и конструируется литейная форма. Результатом данного этапа является трехмерная модель формы, которая передается на 3D-принтер (рис.8).

На 3D-принтере методом послойной трехмерной печати происходит изготовление составных частей формы (стержней), которые впоследствии собираются в стержневые пакеты (рис. 9).

После этого собранная форма подается на уста-

новку литья под низким давлением в песчаные формы фирмы KURTZ (Германия), где происходит заливка формы (рис. 10).

В итоге, отказ от метода «проб и ошибок» и переход к сквозной цепочке проектирования литейной технологии, акцентированной на математическом моделировании литейного процесса в LVMFlow CV, позволил получать на выходе бездефектные отливки с высокой вероятностью, что повысило качество выпускаемого литья. При этом достигается высокий экономический эффект, т.к. заливка пробных вариантов технологии на этапе ее разработки заменяется компьютерным моделированием. Высокая скорость расчета в LVMFlow CV позволила существенно сократить сроки освоения новых изделий.

По всем вопросам обращайтесь:

ООО «ПроМодель»

394038, г. Воронеж, ул. Пешестрелецкая, 108, оф. 301; тел./факс: [473] 258-33-26, 270-99-35
<http://www.lvmflow.ru>, e-mail: lvmflow@lvmflow.ru

ОАО «ВМП «АВИТЕК»

610047, г. Киров, Октябрьский проспект, 1А, Литейный центр; тел./факс: (8332) 236-489
<http://www.vmpavitec.ru>, e-mail: faslit@vmpavitec.ru

Список литературы

1. **Kurtz Industrial Technology Companies:** <http://www.kurtz.ru/content1727.html>.
2. **Степанов Ю.А.** Технология литейного производства: Специальные виды литья; Степанов Ю.А., Баландин Г.Ф., Рыбкин В.А. Литейное производство черных и цветных металлов – М.: Машиностроение, 1983. – 287 с.