



There are given the results of computer modeling of the process of the foundry details production, the analysis of efficiency of working of the foundry modeling system, carried out comparison of the results of the theoretical and experimental investigations.

Г. Ф. МЯЛЬНИЦА, Л. А. ГИЛЬМУТДИНОВ, А. И. ЧМЫРЬ, государственное предприятие
Научно-производственный комплекс «Зоря» – «Машпроект», г. Николаев (Украина)

УДК 621.74

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ЛИТЕЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ГАЗОТУРБИННОМ КОМПЛЕКСЕ «ЗОРЯ» – «МАШПРОЕКТ»

Одним из основных способов получения качественных изделий из металла является литье. Из-за сложности процессов, протекающих во время заполнения формы расплавом и дальнейшим его затвердеванием, доводка литейной технологии производится экспериментальным методом на реальных отливках. Подобная доводка литейных технологий сопровождается значительными материальными потерями. Чтобы снизить подобные затраты, в настоящее время на газотурбинном комплексе «Зоря» – «Машпроект» активно внедряются системы компьютерного моделирования литейных процессов.

Использование компьютерных технологий для моделирования литейных процессов позволяет технологам оптимизировать и дешевым способом доводить литейную технологию, проводить отработку наиболее важных технологических параметров не на отливке, а на ее модели, программно реализованной на персональном компьютере. В результате уменьшается время, необходимое для создания и доводки техпроцессов, и одновременно повышается их качество, снижаются материальные и энергетические затраты. Это, в конечном счете, ведет к снижению себестоимости изделий основного производства, увеличивает производительность и качество труда технолога.

Системы автоматизированного моделирования предназначены для анализа процессов затвердевания, образования дефектов усадочного характера, макро- и микропористости, процесса развития деформаций в интервале затвердевания, расчета структурных параметров, для формирования и расчета любых критериев качества.

В данной работе представлены некоторые результаты расчетов по автоматизации проектирования литейных процессов при помощи системы LVMFlow. Рассмотрены примеры проектирования техпроцессов для стоек опорных венцов и рабочих охлаждаемых лопаток изделия ДН-80. Система LVMFlow была внедрена на предприятии, она применима для всей номенклатуры литых деталей, изготавливаемых на газотурбинном комплексе.

Расчет любой литейной технологии начинается с создания трехмерной модели детали, которую предстоит получить в виде отливки.

На рис. 1–4 показаны трехмерные модели охлаждаемой рабочей лопатки со стержнем и стойки опорного венца изделия ДН-80. Приводятся 3D-модели литниково-питающих систем этих деталей, которые в настоящее время изготавливаются на ГК «Зоря» – «Машпроект».

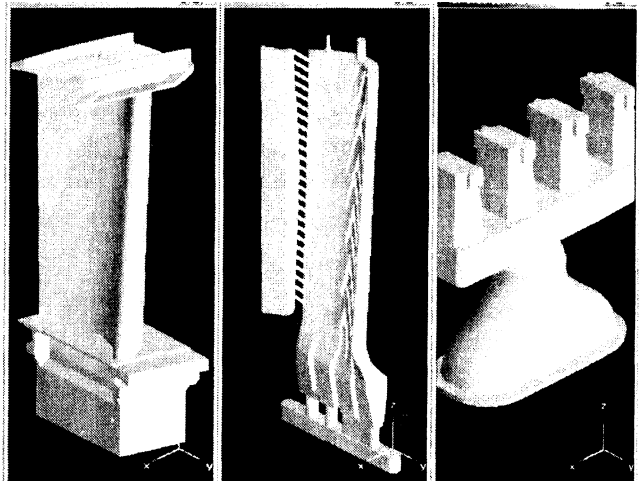


Рис. 1. Трехмерные модели рабочей охлаждаемой лопатки, стержня и литниковой системы

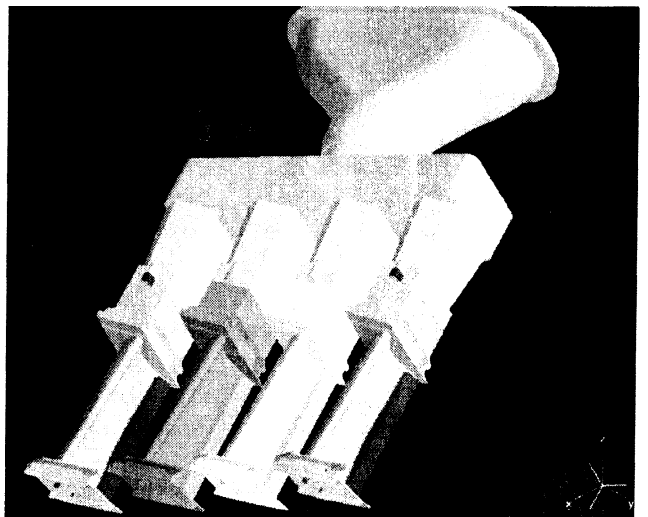


Рис. 2. Литниково-питающая система блока рабочих охлаждаемых лопаток изделия ДН-80

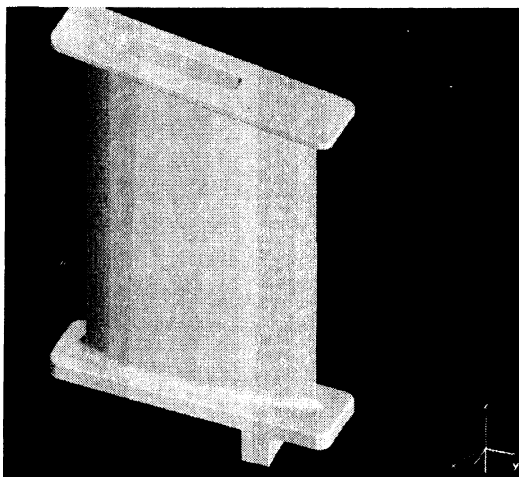


Рис. 3. Трехмерная модель стойки опорного венца изделия ДН-80

Расчет трехмерных моделей стоек и рабочих лопаток производили путем одновременного моделирования процессов заполнения формы расплавом и его затвердеванием. Вывод образа отливок стойки и рабочей лопатки, их визуализация, а также полей функций, характеризующих их состояние (жидкая фаза, температура, скорость течения расплава, дефекты), производится в виде изометрического изображения (3D) и в произвольном плоском сечении (2D) в цветовой гамме, соответствующей установленной шкале. Для получения более детальной информации можно определить численное значение поля (температуры, доли жидкой фазы, скорости, доли дефектов) в произвольной точке расчетной области модели.

Моделирование заливки и кристаллизации

На базе системы кристаллизации литья LVMFlow и впервые на государственном предприятии НПКГ «Зоря» – «Машпроект» был выполнен комплекс работ по компьютерному моделированию процесса литья различных деталей турбин, находящихся на стадии внедрения в серийное производство. В качестве примера приведены результаты расчетов кристаллизации литья по турбинной стойке (см. рис. 1) и рабочей охлаждаемой лопатке (см. рис. 3).

После создания трехмерных моделей дальнейший анализ их эффективности проводили в системе LVMFlow. Предварительно были выбраны материалы и определены граничные и начальные условия для процесса заливки и кристаллизации. Согласно технологическому процессу выбирали способ заливки металла.

Для принятия практических решений рассматривали несколько вариантов литниково-питающих систем как для лопатки (см. рис. 2), так и для стойки (см. рис. 4). Анализ полученных расчетным путем результатов и оптимизация теоретических параметров рассмотренных вариантов подтвердили их совпадение с экспериментальными

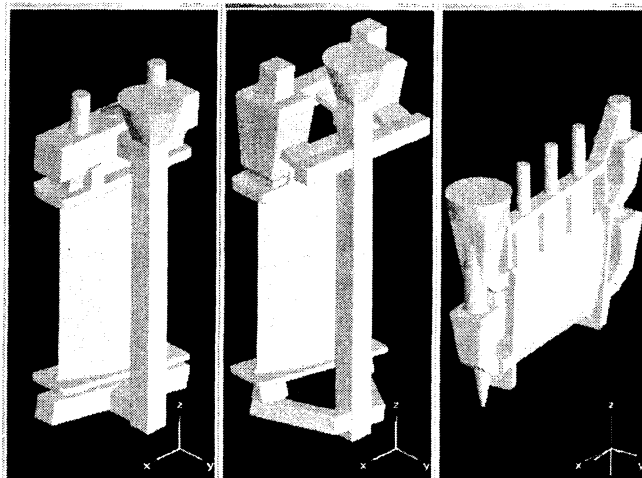


Рис. 4. Варианты трехмерных моделей отливок стоек опорного венца изделия ДН-80

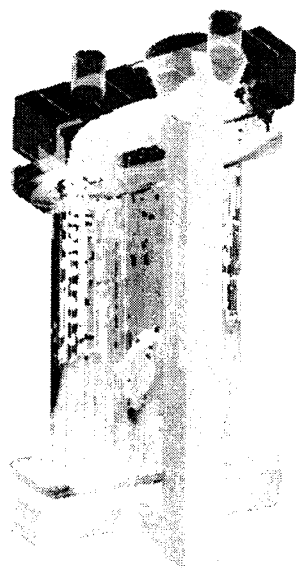
данными. И теоретические, и экспериментальные исследования позволяют выявить наиболее оптимальный способ заливки металла. Степень эффективности заливки, качество заливки характеризуются минимальным количеством дефектов, которые получаются при теоретическом способе получения отливки.

На рис. 5–7 представлены некоторые результаты моделирования процесса литья стойки и рабочей охлаждаемой лопатки. Результаты моделирования сохраняются для дальнейшего просмотра и создания архива технологических решений. На отливку заводится паспорт, в который записываются все параметры моделирования. Результаты расчетов сохраняются в 2D- и 3D-видах.

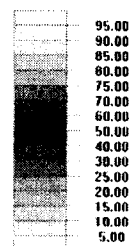
После выполнения расчетов по кристаллизации отливок были получены файлы анимации. Исследование процесса литья таким способом позволяет проконтролировать заполнение литниковой системы вместе с моделью детали металлом в режиме реального времени. Паспорт в дальнейшем может быть использован в качестве прототипа для расчета нового варианта изделия и последующего моделирования заполнения формы и затвердевания металла.

Просмотр результатов анимации для первоначального варианта стойки показал, что при заполнении формы металлом происходит вихреобразное движение потоков металла. Такое движение рабочего тела является нежелательным, так как способствует образованию при заливке областей с пористостью и рыхлотами.

Заливка стоек по итоговому варианту происходит без видимых недостатков. Происходит плавное заполнение формы металлом. В рассматриваемом варианте процесс заливки можно улучшить, если струю металла в начале заливки удастся направить вертикально вниз. В представленном теоретическом материале (рис. 8) видно, что жидкий металл при поступлении внутрь формы встречается со стенкой формы под углом $\sim 10^\circ$.



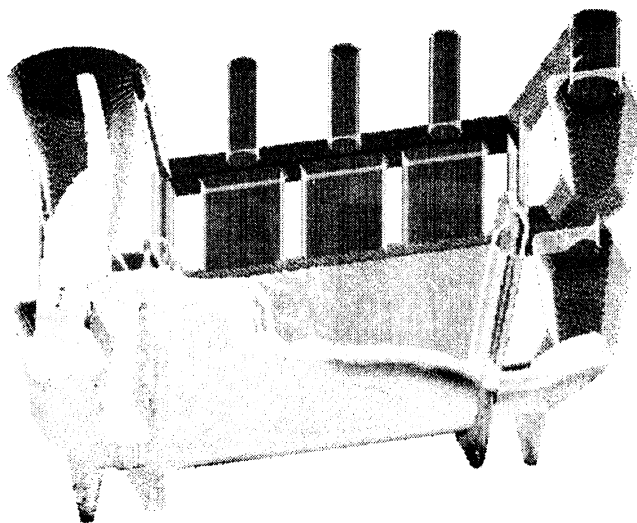
Жидкая фаза, %



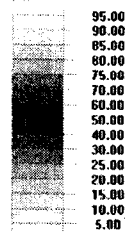
Время, [ч.м.с] 000.00.03.770
Заполнено, % 40.88
Жидкая фаза, % 98.48

YZ плоск., мм 335.09 [164]
Part104st01.14.psp
НПО МКМ
Copyright 1996-2002

Рис. 5. Пример расчета заливки и кристаллизации стойки опорного венца: исходный вариант — жидкая фаза



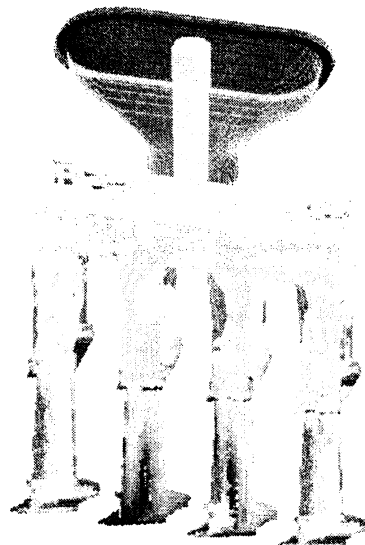
Жидкая фаза, %



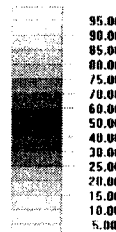
Время, [ч.м.с] 000.00.03.724
Заполнено, % 25.23
Жидкая фаза, % 98.53

YZ плоск., мм 618.13 [308]
Part322st01.22.psp
НПО МКМ
Copyright 1996-2002

Рис. 6. Пример расчета заливки и кристаллизации стойки опорного венца: окончательный вариант — жидкая фаза



Жидкая фаза, %



Время, [ч.м.с] 000.00.00.578
Заполнено, % 21.14
Жидкая фаза, % 98.81

YZ плоск., мм 109.04 [05]
L1-3780-004-1 in Assem30n-2.00.psp
НПО МКМ
Copyright 1996-2002

Рис. 7. Пример расчета заливки и кристаллизации блока охлаждаемых лопаток — жидкая фаза

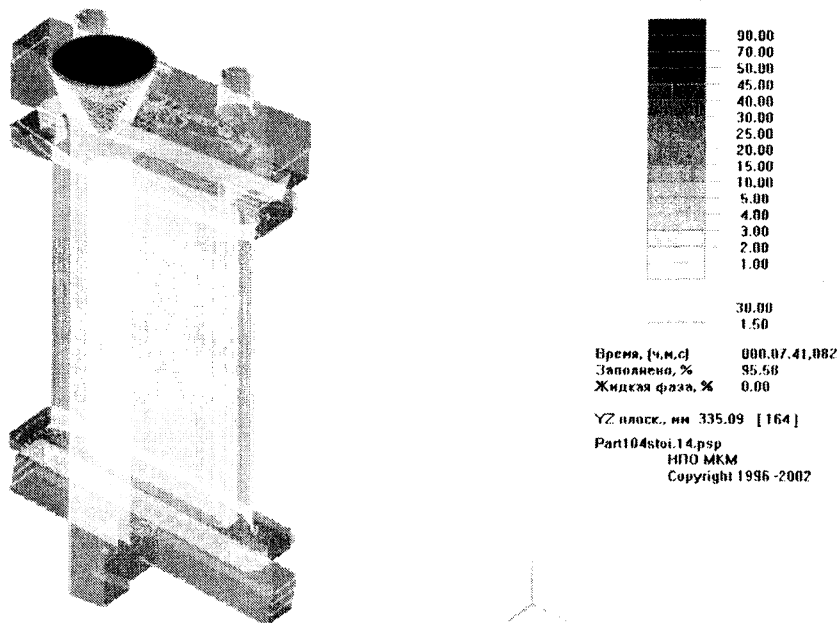


Рис. 8. Расчет дефектов усадочного характера в первоначальном варианте отливки стойки

Заливка рабочих охлаждаемых лопаток отличается сложностью процессов. Наиболее ответственные участки детали – бандажная полка и примыкающая к ней область пера лопатки начинают кристаллизоваться раньше других участков отливки. Слишком раннее наступление кристаллизации нижней части пера лопатки, его полки может привести к образованию рыхлот и раковин в этих областях.

Система компьютерного моделирования, используемая в литейном производстве, может моделировать литье под давлением и гравитационное литье. Задание места питания (заливки) металлом производится на границе расчетной области в точке, принадлежащей отливке или литниково-питающей системе.

Для гравитационного литья задается напор – высота столба жидкости над сечением, в котором установлена литниковая точка. Для литья под давлением задается либо скорость входного потока, либо массовый расход расплава.

Расчет дефектов и их визуализация

Заполнение формы металлом и расчет кристаллизации литья сопровождается в программе определением (расчетом) дефектов. Программа позволяет выявить дефекты усадочного характера.

На рис. 8–10 представлены результаты моделирования процесса литья стоек и лопатки, приведены результаты расчетов по усадке материалов и образованию пустот и раковин.

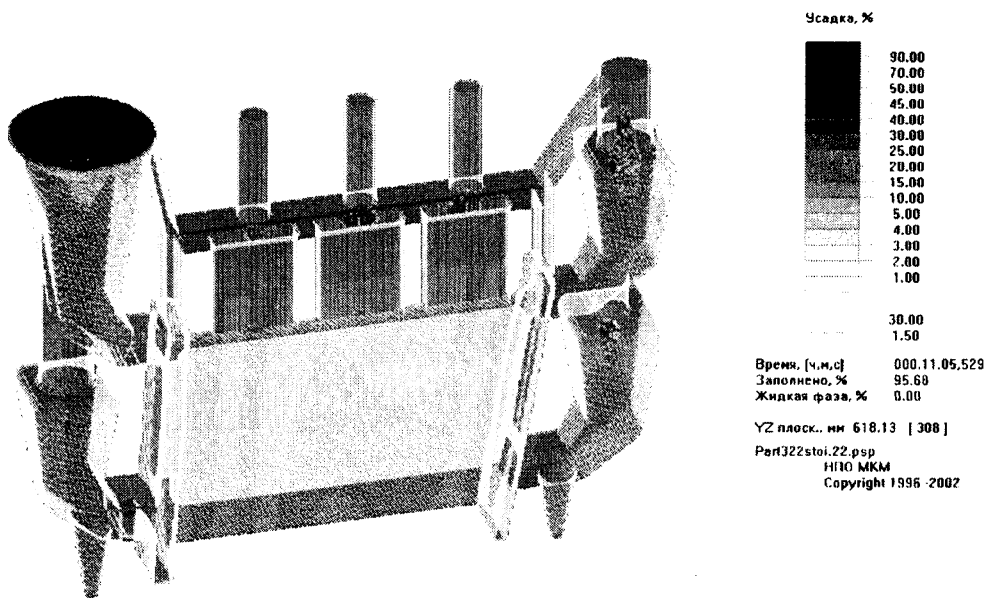


Рис. 9. Расчет дефектов усадочного характера в окончательном варианте отливки стойки

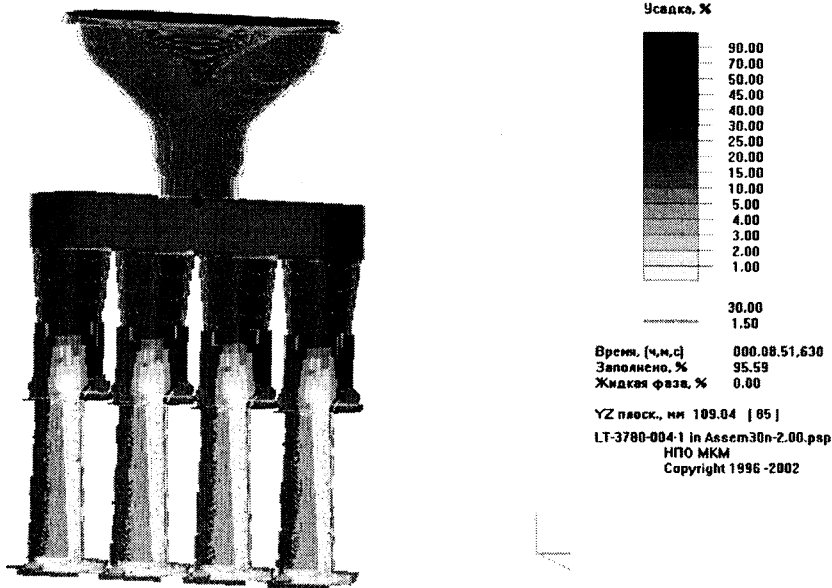


Рис. 10. Расчет дефектов усадочного характера в блоке лопаток

Анализ результатов компьютерного моделирования стоек показал, что конструкции литниково-питающих систем в значительной степени влияют на уровень и количество дефектов. Возникновение дефектов усадочного характера, а также появление пористости и рыхлот при затвердевании в основном зависят от правильного выбора геометрии конструктивных элементов литников.

На рис. 11–13 приведены расчетные данные по пористости и рыхлоте материала стойки и лопатки. Представленные результаты исследований показывают, что во всех отливках в процессе кристаллизации образуются усадочные раковины. Однако в окончательном варианте стойки видно, что на его полотно дефектов не содержится. Таким образом, горизонтальное расположение стойки при заливке является наиболее оптимальным.

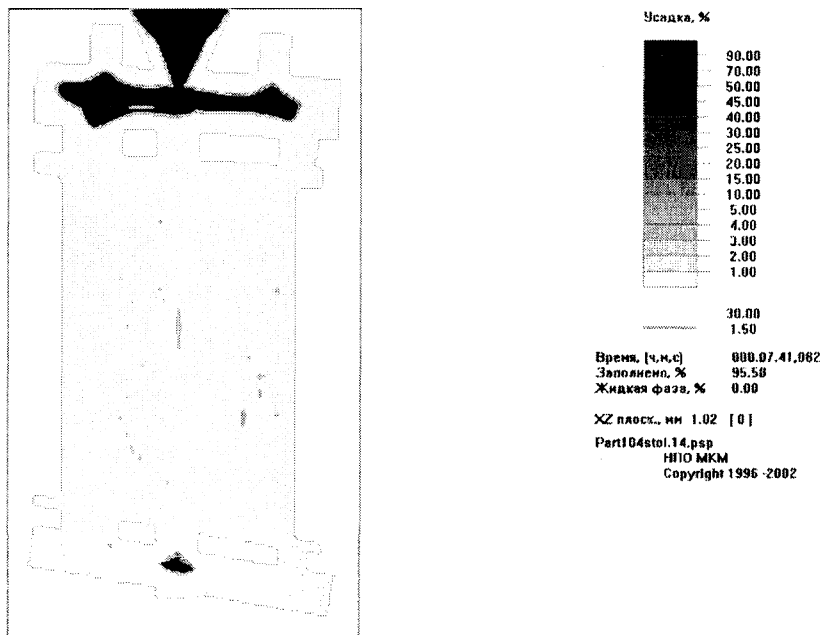


Рис. 11. Дефекты литья стойки (первоначальный вариант)

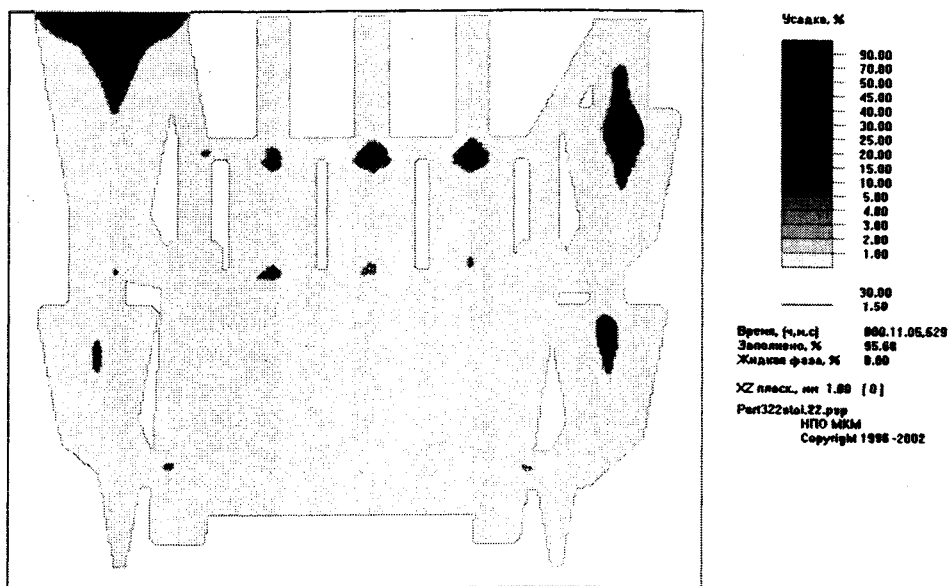


Рис. 12. Дефекты литья стойки (окончательный вариант)

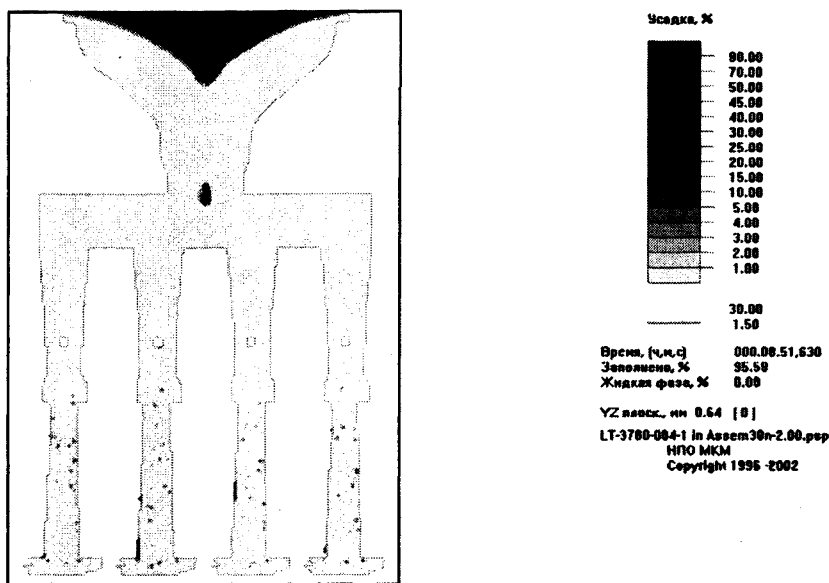


Рис. 13. Дефекты литья блока лопаток

Некоторые практические результаты

По результатам теоретического моделирования были скорректированы техпроцессы изготовления указанных деталей. Таким образом, существовавший метод “проб” и “ошибок” на реальных отливках на предприятии был заменен на метод

компьютерного моделирования. Это дало существенный экономический эффект, так как на ряде изделий удалось значительно повысить выход годного литья. Так, например, брак для стоек изделия ДГ-90 снизился с 23 до 2 %, а для стоек изделия ДН-80 – с 53,6 до 38,9 %.