

на правах рукописи

Нищѐнков Александр Владимирович

УДК 621.74.045:658.512

РАЗРАБОТКА И ОСВОЕНИЕ МЕТОДИК  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ОСНАСТКИ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЛИТЬЯ  
ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.16.04 - "Литейное производство"

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



Нижний Новгород, 1994 год

Работа выполнена в Нижегородском государственном  
техническом университете

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор  
Тимофеев Г.И.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор  
Ефимычев Ю.И.  
кандидат технических наук, с.н.с.  
Марширов В.В.

Ведущая организация - НИИ "Сириус"

Защита диссертации состоится << 16 >> декабря 1994 г.  
в 14 час. на заседании специализированного совета  
К 063.85.05 в Нижегородском государственном техническом  
университете  
Министерства

Ваш  
печать  
имя уч

С ди

Теле

А

Уч  
специа  
кандид  
доцент

*Г.И.*

*Н.И.*

Актуальность работы. Важнейший фактор повышения эффективности литейного производства - сокращение сроков и улучшение качества технологической подготовки производства (ТПП). Решение этой задачи невозможно без применения современных достижений вычислительной техники, информатики, прикладной математики и программирования в виде систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) литья. В связи с невысокой стоимостью аппаратного и программного обеспечения, доступностью большинству проектных подразделений, а также повышению вычислительной мощности и функциональных возможностей (благодаря использованию микропроцессоров 80386/80486) предпочтительно использование САПР на базе персональных ЭВМ. Наиболее рационально применение САПР ТП в специальных видах литья, в частности, в литье по выплавляемым моделям (ЛВМ), где требуется переработка и анализ больших объемов информации, изготавливаемая оснастка отличается высокой стоимостью, длительными сроками конструирования, доводки и освоения, а также имеется возможность применения высокоформализованных методик при проведении проектных работ. Оснастка ЛВМ отличается от других специальных видов литья большим разнообразием, в связи с широким разбросом габаритных размеров и конфигураций получаемых отливок, а также спецификой проектирования пресс-форм для массового, крупносерийного и серийного производства. Несмотря на высокую эффективность применения САПР ТП ЛВМ при проектировании оснастки, большинство работ в этой области направлено на разработку технологии и не затрагивает вопросов конструирования оснастки с учетом особенностей ЛВМ.

Один из распространенных видов брака ЛВМ - засоры, для борьбы с которыми применяют установку фильтров в элементах литниково-питающей системы (ЛПС). При проектировании технологических процессов с использованием фильтров возникают задачи расчета конструктивных и технологических параметров фильтра, разработки новых конструкций фильтров и ЛПС, повышающих эффективность фильтрации, применения фильтров как средства управления заполнением формы, являющейся одной из особенностей способа. Среди способов, улучшающих качество и снижающих сроки проектирования технологии - использование средств вычислительной техники и численных методов расчета, причем, программное обеспечение для решения подобного рода задач, являлось бы составной частью САПР ТП ЛВМ.

Целями работы являются разработка и освоение методик автоматизированного проектирования оснастки и технологии ЛВМ, обеспечивающих улучшение качества ТПП на базе применения средств вычислительной техники и машинной графики, а также применения новых методов расчета с использованием ЭВМ, касающихся в основном проектирования технологического процесса с применением фильтров в элементах ЛПС.

Методы исследования. При исследовании математических моделей и структурно-функциональном анализе оснастки использовались методы

математического анализа, прикладной математики, теории систем и вычислительной гидродинамики. Автоматизация проектирования оснастки реализовывалась на базе методов машинной графики, компьютерной геометрии, информатики, практического программирования и теории САПР.

Научная новизна. В работе получены следующие научные результаты и положения.

1. Разработана и освоена методика автоматизированного проектирования на персональных ЭВМ пресс-форм массового, крупносерийного производства, включающая автоматизированное проектирование модельного звена на основе применения средств машинной графики.

2. Разработана и освоена методика автоматизированного проектирования на персональных ЭВМ пресс-форм серийного производства, обеспечивающая, в том числе, автоматизированное конструирование отливки с ЛПС на базе использования машинной графики.

3. Проведены анализ и исследование процесса заполнения формы ЛВМ с установленным в литниковой системе фильтром с использованием уравнений гидродинамики.

4. Разработана и освоена методика автоматизированного проектирования на персональной ЭВМ технологического процесса с использованием фильтров, включающая расчет и конструирование фильтра по условию заполняемости отливок.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработаны программные комплексы автоматизированного проектирования оснастки и технологии ЛВМ, новые проектные методики, позволяющие сократить сроки, повысить качество ТПП и увеличить эффективность труда инженеров-литейщиков. Освоен процесс литья по выплавляемым моделям с использованием фильтров в литниковых системах и разработаны новые конструкции фильтров и ЛПС, увеличивающие эффективность применения фильтров и улучшающие качество получаемых отливок.

Реализация результатов работы. На АО "Теплообменник" (г. Н.Новгород) освоены и внедрены методика автоматизированного проектирования пресс-форм серийного производства с сокращением времени проектирования пресс-форм  $\approx$  в 10 раз и процесс получения отливок методом ЛВМ с использованием фильтров, устанавливаемых в ЛПС.

Разработанная методика автоматизированного проектирования пресс-форм массового, крупносерийного производства на автомат для изготовления модельных звеньев освоена и внедрена на АО ГАЗ (г. Н.Новгород) с экономическим эффектом 4 млн. руб. в ценах 1993 г.

Элементы и программное обеспечение разработанных методик были освоены и внедрены на АО "Заволжский моторный завод" (г. Заволжье), как составляющие части САПР металлической оснастки.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались и обсуждались:

- на научных семинарах кафедры "Машины и технология литейного производства" и "Литейно-металлургические процессы и сплавы НГТУ в 1990-1994 г.г.;

- на научно-технических семинарах и конференциях на предприятиях АО

"ГАЗ", АО "Теплообменник", АО "Заволжский моторный завод" в 1990-1994 г.г.;

- на областной научно-технической конференции "Прогрессивные технологические процессы и охрана труда в литейно-металлургическом производстве", ЦНТИ, НТО "Машпром", Н.Новгород, 1991 г.;

- на научно-технической конференции "Новые материалы и технологии машиностроения", МАТИ, Москва, 1992 г.;

- на международной научно-технической конференции "Технические средства, методы расчета прочностных характеристик, технологии, обеспечивающие надежность и долговечность деталей и конструкций из новых материалов в машиностроительной, горнодобывающей и нефтегазовой промышленности", КНАПИ, ЦГИ (КНР), Комсомольск-на-Амуре, 1993 г.

- на научно-технической конференции "Оптимизация технологических процессов и управление качеством при производстве фасонных отливок", РАТИ, Рыбинск, 1993 г..

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 работ в центральных и других изданиях.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав и выводов, изложенных на 178 листах, содержит 40 рисунков, 3 таблицы и приложения. Список литературы содержит 110 наименований.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрены особенности применения ЭВМ для автоматизированного проектирования литейных технологий и оснастки, проведен анализ конструкций пресс-форм литья по выплавляемым моделям, а также рассмотрена специфика применения фильтров в литниковых системах и их использования в ЛВМ.

Одно из наиболее распространенных направлений применения ЭВМ в литейном производстве - САПР литейных технологий, включающая разработку технологии конструирования оснастки. В литье по выплавляемым моделям основная часть разработок предназначена для проектирования технологии ЛВМ, решение с их помощью задач, касающихся проектирования оснастки, недостаточно эффективно. В области проектирования технологии программное обеспечение ориентированно на разработку типового технологического процесса и не учитывает ряд конкретных параметров литейной технологии ЛВМ, например, использование фильтров, устанавливаемых в ЛПС.

Наиболее распространенные и универсальные среди различных пресс-форм, применяемых в ЛВМ, - металлические пресс-формы, изготавливаемые обработкой резанием. Данные пресс-формы имеют высокие временные и стоимостные затраты при проектировании и изготовлении, широкое распространение как в массовом крупносерийном, так и в серийном, а в отдельных случаях в мелкосерийном и единичном производстве, большое количество составляющих конструктивных элементов, многономенклатурность, возможность унификации применяемых конструкций, что позволяет относительно свободно формализовать и автоматизировать

зависать процесс их проектирования. Конструирование пресс-форм массового, крупносерийного и серийного производства имеет определенную специфику, характеризующуюся как конфигурацией, габаритами, точностью получаемых отливок, так и серийностью. Пресс-формы массового, крупносерийного производства в основном выполняют многогнездными, где за одну запрессовку получают звено моделей с готовой частью ЛПС. Пресс-формы серийного производства изготавливаются как многогнездными, так и одногнездными. Пресс-формы массового производства содержат большое количество деталей и имеют высокий коэффициент унификации. Данные отличия должны учитываться при разработке методик автоматизированного проектирования пресс-форм в условиях массового, крупносерийного и серийного производства.

Специфика ЛВМ в том, что применяемые ЛПС часто не имеют элементов, регулирующих заполнение формы, скорость заполнения колеблется в широких пределах и зависит от заливщика. Элементы ЛПС рассчитываются не из условий оптимального заполнения, а по условию получения плотных отливок, например, методике Хенкина. Кроме того, изготовление ЛПС в металлических формах требует материальных и временных затрат, поэтому применяются нормализованные ЛПС, не содержащие элементов, регулирующих заполнение формы. Это вызывает брак отливок, скорость заполнения в которых играет ведущую роль. Низкая скорость заполнения приводит к недоливам, а чрезмерно высокая - к заносу в форму неметаллических частиц и газов и также недоливам в результате неполного удаления воздуха вследствие образования "воздушных мешков" при низкой газопроницаемости формы. Один из способов решения данной проблемы - использование фильтров не только для устранения засоров, но и для управления заполнением, при этом регулирование осуществляется отверстиями фильтра, установленного в ЛПС. Неправильно подобранные конструктивные (размер, форма, количество отверстий) и технологические (температура заливки и подогрева) параметры фильтра вызывают нарушения режима заполнения формы и приводят к браку. Применение ЭВМ позволит определить параметры фильтра и проектировать технологию на основе машинного эксперимента, уменьшая затраты и сокращая сроки разработки и внедрения технологического процесса.

Еще один способ повысить эффективность технологического процесса с использованием фильтров - проведение работ по созданию новых конструкций фильтров и ЛПС для их установки. Эти работы касаются оптимизации режима заполнения формы (снижения турбулентности, окисляемости, вторичного шлакообразования и т.п.), снижения трудоемкости технологического процесса (устранение применения сборных ЛПС, облегчение установки фильтра и т.д.) и т.п..

Таким образом, были определены следующие основные задачи диссертационной работы:

- 1) разработать, освоить и внедрить методику автоматизированного проектирования на базе персональных ЭВМ металлических пресс-форм ЛВМ с учетом специфики массового, крупносерийного производства;

2) разработать, освоить и внедрить методику автоматизированного проектирования на базе персональных ЭВМ металлических пресс-форм ЛВМ с учетом особенностей серийного производства;

3) провести анализ и исследование процесса заполнения формы ЛВМ с установленным фильтром и на этой основе разработать методику и алгоритм проектирования на персональных ЭВМ технологического процесса с использованием фильтров, включающие определение конструктивных и технологических параметров фильтра и входящие в состав САПР проектирования технологии ЛВМ;

4) разработать новые конструкции фильтров и ЛПС для их установки, повышающих эффективность фильтрации в ЛВМ, с целью улучшения качества получаемых отливок и снижения трудоемкости технологического процесса с применением фильтров.

Во второй главе рассмотрены общие вопросы автоматизации проектирования пресс-форм ЛВМ, к которым относятся:

- структура и принципы организации программного обеспечения;
- организация и работа с конструкторскими базами данных;
- автоматизированное конструирование отливки и рабочей полости формы;
- методика автоматизированной разработки сборочных чертежей;
- разработка технического задания САПР пресс-форм;

Программное обеспечение САПР пресс-форм базируется на системе с мощными графическими возможностями и имеет следующую структуру:

- графический редактор САПР;
- конструкторскую базу данных;
- подсистему автоматизации оформления чертежей и выпуска конструкторской документации (КД);
- библиотеку геометрических моделей (ГМ) крепежа пресс-форм;
- библиотеку ГМ типовых и стандартных элементов пресс-форм;
- библиотеку ГМ заготовок рабочих чертежей пресс-форм;
- подсистему генерации сборочного чертежа пресс-форм;
- модули генерации спецификации;
- модули поддержки процесса проектирования (проведение расчетов формообразующих, прочностных расчетов и т.п.).

В работе подробно рассмотрено функциональное назначение и взаимодействие составляющих частей в общей структуре САПР. Особое внимание уделено созданию программного обеспечения для организации конструкторской базы данных, представляющей собой информационно-поисковую систему (ИПС) для нахождения прототипов и аналогов проектирования. Разработан программный комплекс, осуществляющий взаимодействие с конструкторской базой данных (архивом чертежей) через текстовое описание чертежей - атрибуты. Программный комплекс представляет из себя ряд сервисных программ, обеспечивающих интерфейс между графическим изображением чертежа, его атрибутами и пользователем-конструктором. Ядром комплекса является модуль многоключевого поиска. Задавая ключи поиска или их комбинацию, в зависимости от атрибутов чертежа, конструктор подбирает наиболее подходящий аналог

или прототип проектирования с возможностью последующего редактирования или просмотра в графическом редакторе САПР.

В работе обоснована необходимость и описана технология автоматизированного конструирования отливки и получения формообразующей полости пресс-формы на основе возможностей машинной графики. Разработана методика получения формообразующей полости средствами геометрического моделирования, путем последовательных преобразований ГМ детали в ГМ отливки и далее в ГМ рабочей полости с учетом особенностей ЛВМ (усадки модельного состава, металла и расширения оболочковой формы при прокатке).

Один из трудоемких и ответственных этапов проектирования - разработка сборочного чертежа. При разработке сборочного чертежа в автоматизированном режиме выделены следующие методы:

- чертеж создается на основе модификации (редактирования) прототипа;
- чертеж разрабатывается путем манипулирования готовыми геометрическими моделями элементов пресс-формы;
- чертеж разрабатывается на основе манипулирования укрупненными графическими макропримитивами (элементами чертежа);
- чертеж разрабатывается на основе применения программного модуля, выполняющего построение сборочного чертежа по вводимым конструктором ключевым параметрам;
- чертеж разрабатывается только средствами машинной графики (не имеет прототипа);

В результате анализа каждого из методов сформулированы конкретные положения по их применению.

В конце главы, на основе практического опыта, определены принципы составления технического задания, состоящие в определении базовой компоновки по типу сборочного чертежа, выделении оригинальных, типовых и стандартных деталей, применении параметризации геометрии элементов пресс-формы, выявлении ключевых параметров, определяющих геометрические размеры и расположение элементов пресс-формы.

В третьей главе рассматриваются вопросы, связанные напрямую с автоматизированным проектированием пресс-форм ЛВМ в условиях массового, крупносерийного производства:

- автоматизированное проектирование модельного звена;
- анализ конструкций пресс-формы;
- разработка методики и алгоритма автоматизированного проектирования пресс-форм на автомат для изготовления модельных звеньев.

В условиях массового, крупносерийного производства пресс-формы проектируются по чертежу модельного звена. Разработана методика автоматизированного проектирования модельного звена средствами машинной графики, включающая размещение и определение числа моделей в звене с учетом прочности модельного звена при технологических операциях сборки и нанесения суспензии и условий отделения от стояка. Исходными данными для проектирования является ГМ детали, преобразу-



мая в ГМ отливки (с отрисовкой припусков на мехобработку, допусков и уклонов) и далее, геометрическим моделированием, в ГМ модельного звена.

Наиболее широкое распространение для производства отливок в условиях массового, крупносерийного производства нашли автоматы для изготовления модельных звеньев. Анализ пресс-форм на автоматы показывает высокую степень унификации - до 90 %. Временные затраты на создание комплекта чертежей оснастки в среднем на 70-80 % связаны с разработкой чертежей типовых элементов и подбором необходимых стандартных деталей. Целью автоматизации в этом случае является освобождение конструктора от данной процедуры и сосредоточение его усилий на проектировании формообразующих частей, не поддающихся формализации и типизации.

На базе разработанной методики создан программный комплекс для автоматизированного проектирования пресс-форм на автомат для изготовления модельных звеньев, обеспечивающий получение комплекта КД (сборочного, детализировочных чертежей и спецификации) с высокой степенью автоматизации. Программный комплекс разбит на два пакета - для проектирования пресс-форм на модельные звенья диаметром до 150 мм и свыше 150. Алгоритм работы и структура программного обеспечения комплекса представлены на рис. 1. Проектирование производится в порядке: ГМ модельного звена - ГМ формообразующей полости ("гнездо") - сборочный чертеж - детализировочные чертежи - спецификация пресс-формы и начинается с преобразования ГМ модельного звена в ГМ формообразующей полости ("гнездо" пресс-формы), записываемой в память компьютера. Затем по диаметру модельного звена выбирают тип используемого пакета и переходят к следующему этапу проектирования - разработке сборочного чертежа. В основу применяемой для генерации сборочного чертежа методики положены идеи теории параметризации и вариантного конструирования. Пресс-форма на автомат насчитывает более 50 типовых и стандартных элементов, каждый из которых можно описать геометрической моделью (изображением). Однако, пресс-форма - сложный в конструктивном отношении объект, где размеры элементов связаны между собой и изменение одного приводит к изменению всей конструкции. Для решения данной задачи были выделены ключевые параметры, с помощью которых можно геометрически описать конструкцию пресс-формы:

- высота литникового кольца;
- расстояние от плоскости разъема до крайней точки литникового кольца;
- толщины подвижной и неподвижной плит.

На начальной стадии разработки сборочного чертежа по ключевым параметрам, с помощью модуля генерации заготовки сборки формируется графическая заготовка сборочного чертежа. При этом вычисленные в автоматизированном режиме размеры элементов пресс-формы записываются в память компьютера и используются при получении детализировочных чертежей. После получения заготовки сборочного чертежа из памяти

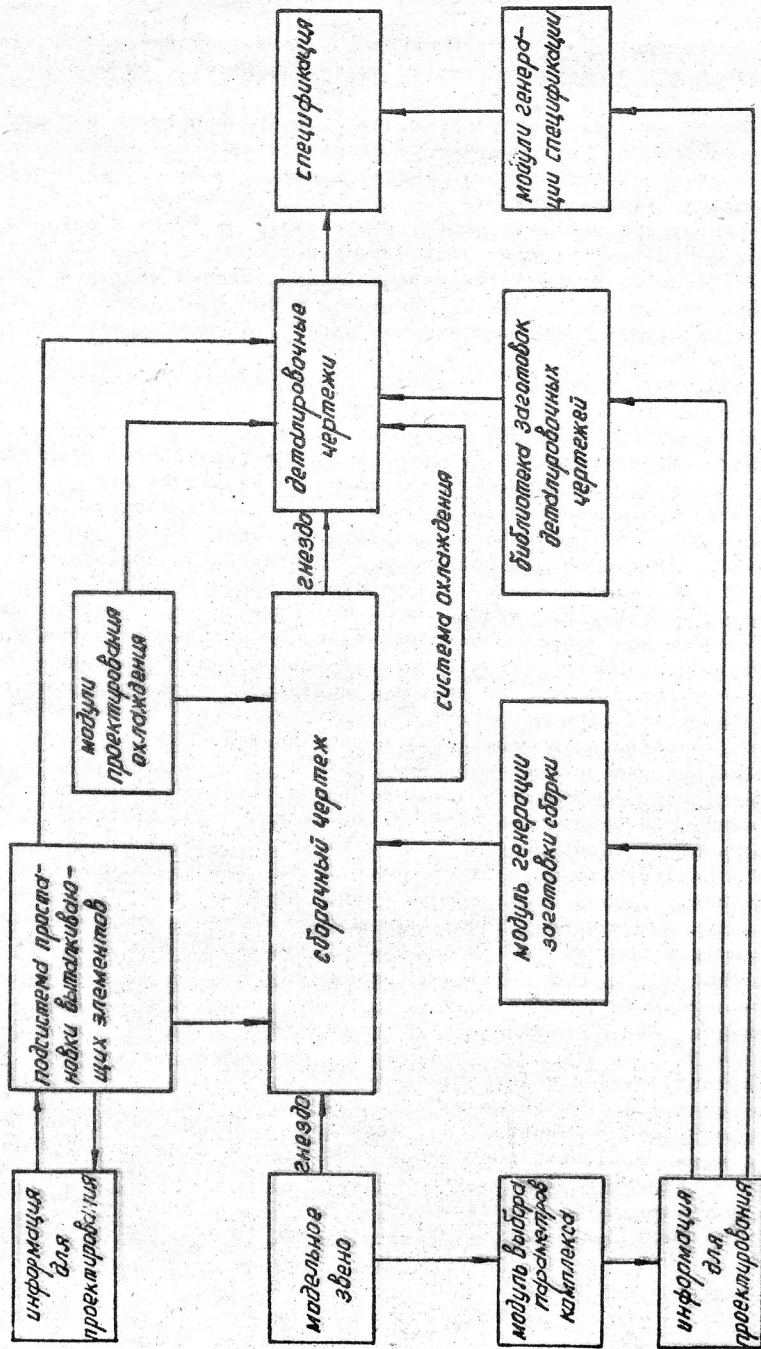


Рис. 1. Алгоритм работы и структура программного обеспечения САПР пресс-формы на автомат для изготовления модельных звеньев

ЭВМ вызывается "гнездо" пресс-формы и вставляется в графическую заготовку сборки. Далее производится протравка выталкивающих элементов (штулок со стержнями, выталкивателей) пресс-формы. Позиции и размеры элементов автоматически считываются с графической заготовки сборки и помещаются в память ЭВМ. Эта информация, также как и рассчитанные ранее геометрические размеры элементов пресс-формы, используется далее без непосредственного участия конструктора, увеличивая скорость проектирования и устраняя ошибки. Завершается разработка сборочного чертежа конструированием системы охлаждения, производимым в автоматизированном режиме путем применения средств машинной графики и соответствующих модулей. Полученная на сборочном чертеже ГМ системы охлаждения также заносится в память ЭВМ. Разработка детализованных чертежей производится с помощью библиотеки графических заготовок, представляющих "гибкие" - параметризованные и "жесткие" - неизменяемые ГМ. При разработке формообразующих частей (плит подвижной и неподвижной) используются ранее сформированные "гнездо" и ГМ системы охлаждения, которые вставляются в графические заготовки этих элементов. Конечным этапом работы комплекса является генерация спецификации, осуществляемая в автоматическом режиме. Среди дополнительных возможностей комплекса - автоматическое получение разрезов выталкивающих элементов пресс-формы. Управление программным комплексом осуществляется через систему пиктографических меню.

Реализация данной методики позволила проектировать оснастку со степенью автоматизации до 90 %.

В четвертой главе рассмотрены вопросы методики автоматизированного проектирования пресс-форм ЛВМ в условиях серийного производства:

- автоматизированное проектирование отливки с ЛПС;
- анализ конструкций пресс-форм;
- разработка методики и алгоритма автоматизированного проектирования пресс-форм серийного производства.

В отличие от пресс-форм массового производства, как правило, выполняются одногнездными. В комплект оснастки входит оснастка для получения ЛПС, в отличие от массового производства (где преимущественно используется один тип ЛПС - центральный стояк) и для проектирования оснастки необходим чертеж или ГМ отливки с ЛПС. На ЛПС может проектироваться отдельная пресс-форма, либо элементы ЛПС или вся система располагается в одной пресс-форме с моделью.

Разработана методика автоматизированного проектирования, позволяющая получить ГМ отливки с ЛПС. Ключевой момент методики - повышение эффективности проектирования с помощью графических библиотек нормализованных ЛПС, хранящихся в памяти ЭВМ и состоящих из графических элементов систем. Выбор ЛПС происходит в автоматизированном режиме. Данный подход дает возможность проектировать пресс-формы на ЛПС в высокоавтоматизированном режиме с формализацией формообразующих частей, при этом для получения комплекта чер-

техей оснастки достаточно указания вида и типоразмера ЛПС.

Пресс-формы серийного производства, в отличие от массового, характеризуются большим числом применяемых конструктивных решений, широким разбросом габаритов, низкой степенью унификации. Отсутствие унификации и типизации заставляет каждый раз проектировать оригинальную пресс-форму. Вместе с тем, автоматизированное проектирование для серийного производства с использованием типовых и нормализованных конструкций пресс-форм значительно сокращает сроки и повышает качество проектирования, как и в случае массового производства, позволяя сосредоточить усилия конструктора на проектировании формообразующих частей.

На основе использования типовых конструктивных элементов разработана универсальная компоновка пресс-формы серийного производства (рис. 2), манипулируя конструктивными элементами и узлами которой (добавляя, исключая, редактируя) при помощи машинной графики можно разрабатывать пресс-формы различных конструкций в зависимости от конфигурации и размеров получаемых отливок. На базе указанной компоновки программно реализована методика автоматизированного проектирования, обеспечивающая получение комплекта КД. Проектирование начинается с преобразования ГМ отливки с ЛПС в ГМ формообразующей полости. При этом может использоваться модуль уточненного расчета рабочей полости, который позволяет корректировать размеры формообразующих частей в соответствии с существующими методиками расчета. Полученные графические изображения заносятся в память ПЭВМ. Далее конструктор обращается к ИПС для просмотра слайдов и чертежей на подобные детали и ЛПС, если они изготавливаются отдельно от модели отливки. Если подходящий комплект найден, конструктор работает с ним, добавляя в него новые чертежи или модифицируя старые. Данный подход используется, когда проектируемая оснастка имеет незначительные отличия от прототипа. После того как работа с ИПС закончена, конструктор приступает к разработке сборочного чертежа. В отличие от пресс-форм массового производства, где заготовка сборки формируется за один раз по введенным ключевым параметрам, построение сборочного чертежа происходит из укрупненных графических макропримитивов (элементов сборочного чертежа, представляющих собой графические изображения деталей или узлов, составляющих пресс-форму). Ключевой момент в разработке сборки - построение вида в плане. При этом на проекцию вида в плане ГМ рабочей полости накладываются проекции вида в плане заготовки плиты нижней, подбираются необходимые размеры, проставляются узлы крепления пресс-формы с указанием характерных размеров (диаметра откидного болта) и расположения узлов. Затем устанавливается плита толкающая и завершает разработку вида в плане простановка проекций фиксаторов, конртолкателей, и толкателей с указанием диаметров и координат расположения. Информация, необходимая для дальнейшего проектирования, при этом автоматически заносится в память компьютера. Отрисовка фронтальной и профильной проекций пресс-формы происходит за один раз, так как эти фрагменты

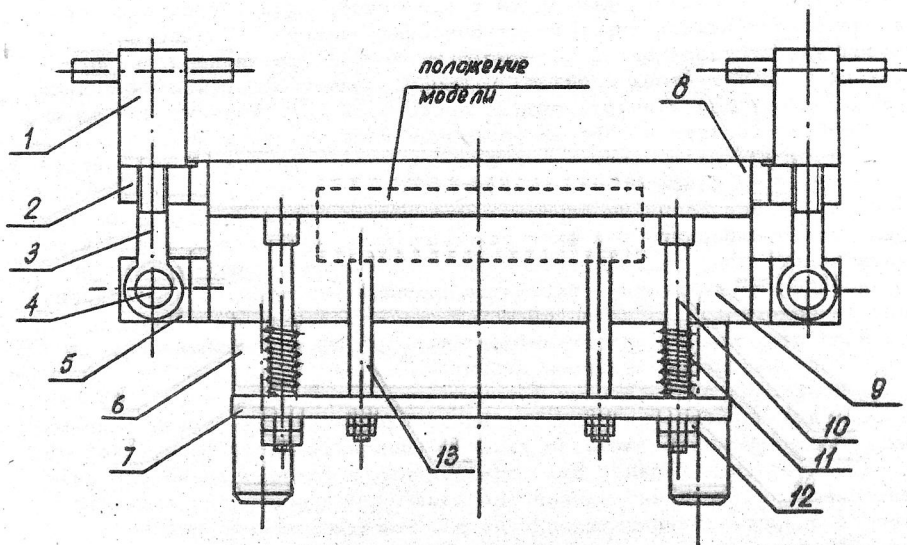


Рис. 2. Универсальная типовая компоновка пресс-формы серийного производства:

- 1 - гайка с рукояткой; 2 - ушко верхней плиты; 3 - болт откидной; 4 - штифт; 5 - ушко нижней плиты; 6 - ножка; 7 - плита выталкивателей; 8 - плита верхняя; 9 - плита нижняя; 10 - контролкатель; 11 - пружина; 12 - гайка; 13 - выталкиватель.

сборочного чертежа представляют собой укрупненные параметризованные графические макропримитивы. При генерации изображений автоматически используется информация, занесенная в память при разработке вида в плане. Дальнейший ход проектирования аналогичен проектированию для массового производства.

Разработанная система, в отличие от системы проектирования для массового производства, имеет более низкую скорость проектирования, так как сборочный чертеж создается в полуавтоматизированном режиме (синтезом из укрупненных графических макропримитивов - типовых элементов или узлов пресс-формы). Однако данная система имеет высокую гибкость, так как на начальной стадии разработки сборочного чертежа позволяет менять тип, геометрические размеры, количество и расположение составляющих пресс-форму элементов, увеличивая число возможных конструктивных вариантов. Это позволяет эффективно использовать систему для конструирования пресс-форм на отливки с большим разнообразием форм и широким разбросом габаритных размеров.

В пятой главе рассмотрены вопросы проектирования технологического процесса с использованием фильтров:

- анализ и исследование процесса заполнения формы с установленным фильтром, выбор базовой физической модели, постановка задачи математического моделирования заполнения и способы ее решения на ЭВМ;
- разработка методики и алгоритма автоматизированного проектирования технологического процесса ЛВМ с использованием фильтров;
- разработку новых конструкций фильтров и ЛПС, повышающих эффективность использования фильтров в ЛВМ.

Наиболее универсальным (применяется и для управления заполнением и для борьбы с засорами) является керамический фильтр с прямыми проходными отверстиями. В качестве первоначальной физической модели заполнения формы с фильтром данного типа принята модель неустановившегося движения вязкой несжимаемой однофазной жидкости в нестационарном температурном поле. Решение данной задачи на ЭВМ представляет собой решение системы дифференциальных уравнений с помощью численных методов и вызывает значительные трудности из-за сложности реализации алгоритмов в связи с многостадийностью процесса заполнения, необходимости разработки модулей дискретизации (разбивки на конечно-разностные элементы) для решения задач подобного типа, большими затратами машинных ресурсов (даже на ЭВМ высокого класса) на расчет одного технологического варианта.

Разработана и программно реализована методика для инженерного расчета параметров технологического процесса ЛВМ с использованием фильтров. В предложенной методике течение металла в фильтре рассматривается как одномерное течение вязкой однофазной несжимаемой жидкости при установившемся течении (при заполнении формы, практически во время всей заливки, над фильтром сохраняется постоянный уровень), а весь процесс заполнения предполагается состоящим из двух основных этапов - течение в каналах фильтра и течение в полости формы. Это дает возможность использовать в расчетах уравнение

Бернулли и избежать детального решения дифференциальных уравнений Навье-Стокса. Конструктивные и технологические параметры фильтра рассчитываются из условия гарантированного заполнения формы, на основе необходимого для этого превышения расхода и температуры металла на выходе из фильтра над расходом и температурой в питателях отливки. Система неравенств, обеспечивающая расчет конструктивных и технологических параметров фильтра имеет следующий вид.

$$\left. \begin{aligned} \mu_{\phi} \sum F_{отв} \sqrt{2gH_p} = V_{\phi} \mu_{отв} \mu_{пит} > Q_{пит} \\ (T_{зал} - T_{\phi.н.}) \exp \left[ \frac{-\alpha_{\phi} b_{\phi}}{\rho c l_0 (b+b_{\phi})} \frac{h_{\phi}}{V_{\phi}} \right] + T_{\phi.н.} > T_{пит} \end{aligned} \right\},$$

где

- $Q_{пит}$ ,  $T_{пит}$  - расход и температура металла в питателях;
- $\mu_{\phi}$ ,  $\mu_{отв}$  - коэффициенты расхода фильтра и его пропускного отверстия;
- $H_p, g$  - металлостатический напор над фильтром и ускорение свободного падения;
- $n$  - количество пропускных отверстий;
- $\sum F_{отв}$  - суммарная площадь пропускных отверстий;
- $V_{\phi}$  - средняя скорость истечения расплава через фильтр;
- $S_{отв}$  - площадь отверстия фильтра;
- $\alpha$  - коэффициент теплоотдачи от расплава к фильтру;
- $T_{зал}, T_{\phi.н.}$  - температуры заливки и подогрева фильтра;
- $h_{\phi}$  - толщина фильтра;
- $l_0$  - гидравлический радиус отверстия;
- $\rho, c$  - удельные теплоемкость и плотность расплава;
- $b, b_{\phi}$  - коэффициенты теплоаккумуляции расплава и фильтра.

Общая схема проектирования технологического процесса с использованием фильтра следующая.

На первом этапе вычисляются минимально необходимый расход и температура, обеспечивающие заполняемость формы в питателях отливки, рассчитанных по методике Хенкина. Для этого ГМ отливки с определенным шагом делится на поперечные участки с вычислением гидравлических радиусов и поперечных сечений участков. В отличие от принятых методик расчет происходит в обратном порядке - в направлении заполняемого в последнюю очередь участка отливки к питателям, что позволяет точно определить начальные условия и рационально использовать машинные ресурсы. При вычислениях используется система уравнений неразрывности и изменения температуры фронта потока с учетом массобмена и происходит проверка значения температуры фронта потока в начале участка на выполнение условия заполняемости -  $T_{\phi} > T_1 + 20$

(Тф - температура фронта, Тl - температура ликвидус). Предусматривается дополнительное ограничение на Тмах (максимально допустимую температуру), позволяющее учесть различные стороны технологического процесса. Результатом вычислений являются минимально допустимые значения расхода и температуры в питателях. На заключительной стадии происходит автоматизированный расчет конструктивных (толщина фильтра, форма, площадь, количество отверстий) и технологических (температуры подогрева фильтра и заливки формы) параметров фильтра.

Описанная методика была освоена на нескольких типах стальных отливок и показала удовлетворительные результаты.

Разработаны новые конструкции фильтра и ЛПС, повышающие эффективность использования фильтрации в ЛВМ. Фильтр имеет входные, расположенные группами, выходные отверстия и пропускные каналы, сходящиеся к выходному отверстию для каждой группы (рис. 3). Предложенная конструкция уменьшает суммарную поверхность вытекающих из фильтра струй, повышает их устойчивость, препятствуя распаду струй с образованием корольков, тем самым уменьшая окисляемость расплава. ЛПС предназначена для сифонной заливки пленообразующих сплавов, имеет прямой и обратный стояк с направляющими пазами и фиксирующей выточкой, фильтр с соответствующими выступами и питатель. Использование ЛПС позволяет снизить турбулентность потока и вторичное шлакообразование (за счет плавного заполнения формы), применить фильтры с меньшими пропускными отверстиями, более полно удалить модельный состав перед заливкой, применить многоступенчатую фильтрацию при выполнении дополнительных выточек, использовать пространство в нижней части обратного стояка, ограниченное сверху фильтром, как камеру для дополнительной обработки расплава в форме.

На разработанные конструкции получены авторские свидетельства (а.с. N 1720782, 1769928).

В шестой главе описаны результаты практической реализации разработанных методик в промышленности и намечены основные направления развития и повышения эффективности САПР оснастки и технологии ЛВМ.

Среди результатов внедрения можно выделить:

- сокращение сроков проектирования до 15 раз;
- повышение качества проектных решений за счет снижения количества ошибок при проектировании;
- повышение общей культуры труда проектировщиков и освобождение их от рутинной работы;
- улучшение качества документирования.

Полученные результаты позволили получить экономический эффект при внедрении САПР пресс-форм на АО "ГАЗ" в размере 4 млн. руб. в ценах 1993 г. и сократить время проектирования оснастки ЛВМ в 10 раз на АО "Теплообменник".

В качестве основных направлений, повышающих эффективность САПР, можно определить:

- создание интегрированных систем, включающих весь процесс проектирования от разработки технологии до конструирования оснастки;



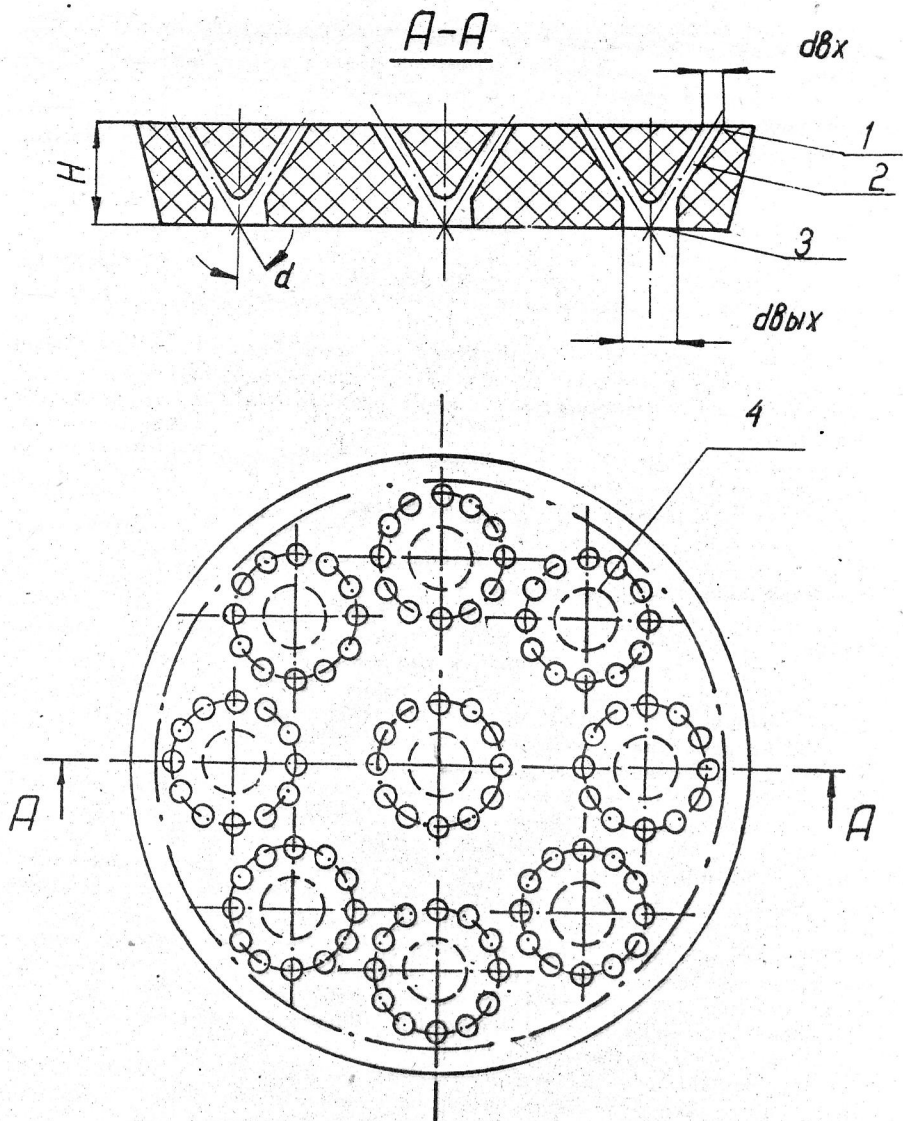


Рис. 3. Конструкция фильтра для снижения интенсивности окисления расплава:

1 - входные отверстия; 2 - выходные отверстия; 3 - пропускные каналы; 4 - группы.

- решение трудноформализуемых задач проектирования (определение плоскости разреза) на основе машинного зрения (распознавания образов) и элементов искусственного интеллекта;
- генерация трехмерных изображений деталей по двумерным проекциям;
- выход на изготовление формообразующих частей оснастки на станках с ЧПУ.

## ВЫВОДЫ

1. Разработаны основные положения по составу и функционированию программного обеспечения на ЭВМ САПР пресс-форм ЛВМ, включающие:

- принципы организации конструкторской базы данных, позволяющей производить поиск аналогов и прототипов проектирования;
- методику автоматизированного проектирования отливки и рабочей полости пресс-формы с учетом специфики ЛВМ (усадки модельного состава, металла и термического расширения оболочковой формы) средствами машинной графики;
- методику построения сборочных чертежей;
- основные принципы и порядок составления технического задания САПР пресс-форм ЛВМ и рекомендации по снижению трудоемкости разработки и повышению эффективности использования программного обеспечения.

2. Разработана методика автоматизированного проектирования модельного звена средствами машинной графики, обеспечивающая получение ГМ модельного звена (включая размещение и определение числа моделей в звене, исходя из условий прочности при сборке блока и отделения отливок) с помощью геометрического моделирования.

3. Разработана и внедрена методика автоматизированного проектирования пресс-форм ЛВМ массового, крупносерийного производства, обеспечивающая получение полного комплекта конструкторской документации по ключевым параметрам с высокой степенью автоматизации.

4. Разработана методика автоматизированного проектирования отливки с ЛПС, позволяющая получить ГМ отливки и ЛПС средствами машинной графики и основанная на использовании библиотек ГМ элементов типовых ЛПС и геометрического моделирования.

5. Разработана и внедрена методика автоматизированного проектирования пресс-форм ЛВМ серийного производства, обеспечивающая получение полного комплекта КД с возможностью воздействовать на процесс проектирования в ходе разработки сборочного чертежа и характеризующаяся высокой гибкостью.

6. Разработана математическая модель заполнения формы с установленным фильтром, учитывающая гидродинамическую и тепловую сторону процесса, проанализированы способы ее решения на ЭВМ.

7. Разработана методика и алгоритм автоматизированного расчета конструктивных и технологических параметров фильтра на основе выполнения условий заполняемости формы, позволяющая проектировать технологический процесс ЛВМ с использованием фильтров на ЭВМ.

8. Разработаны новые конструкции фильтра и ЛПС, предназначенные для снижения окисляемости, расширения технологических возможностей и повышения качества фильтрации (а.с. N 1720782, 1769928).

9. Результаты выполненной работы позволяют:

- сократить сроки и повысить качество ТПП, и в конечном счете, качество получаемых отливок;
- использовать разработанную методику для создания САПР других видов литья;
- повысить производительность и культуру труда проектировщиков и освободить их от рутинной работы;
- получить значительный экономический эффект.

10. Основные результаты работы освоены и внедрены на АО "ГАЗ" с экономическим эффектом 4 млн. руб. в ценах 1993 г. и АО "Теплообменник" с сокращением времени проектирования оснастки ЛВМ в 10 раз.

Основные материалы диссертации опубликованы в работах:

1. Тимофеев Г.И., Леушин И.О., Нищёнков А.В. Структура программного обеспечения САПР литейных технологий // Прогрессивные технологические процессы и охрана труда в литейно-металлургическом производстве: Тезисы доклада на НТК.- Н.Новгород, 1991.- С. 92-94.
2. Тимофеев Г.И., Пименов Н.П., Нищёнков А.В. Автоматизированное проектирование металлических форм на персональной ЭВМ // Судостроительная промышленность, сер. Технология и организация производства.- 1991.- N26.- С. 30-36.
3. Леушин И.О., Нищёнков А.В., Караулов И.Н. Разработка САПР оснастки специальных видов литья // Новые материалы и технологии машиностроения: Тезисы доклада на НТК.- Москва, 1992.- С. 18-19.
4. А.с. 1769928 А1 (СССР) В 01 D 39/10. Фильтр для рафинирования жидкого металла в литейной форме / Г.И. Тимофеев, Ю.И. Трифонов., И.О. Леушин, А.В. Нищёнков.- 4 с.: ил.
6. Нищёнков А.В. Автоматизированное проектирование оснастки для литья по выплавляемым моделям. // Технические средства, методы расчета прочностных характеристик, технологии, обеспечивающие надежность и долговечность деталей и конструкций из новых материалов, в машиностроительной, горнодобывающей и нефтегазовой промышленности: Тезисы доклада на МНТК.- Комсомольск-на-Амуре.- 1993.- С. 17-18.
7. Тимофеев Г.И., Нищёнков А.В. Автоматизированное проектирование пресс-форм для литья по выплавляемым моделям // Литейное производство.- 1993.- N12.- С. 21-22.
8. Леушин И.О., Тимофеев Г.И., Нищёнков А.В., Арзамаскин Ю.А. Интегрированная информационно-поисковая система для разработки литейных технологий на ПЭВМ // Литейное производство.- 1993.- N12.- С 20.
9. Тимофеев Г.И., Нищёнков А.В., Леушин И.О. Методика автоматизированного проектирования пресс-форм литья по выплавляемым моделям серийного и массового производства // Оптимизация технологических процессов и управление качеством при производстве фасонных отливок:

Тезисы доклада на НТК.- Рыбинск.- 1993.- С. 13.

10. Тимофеев Г.И., Нищёнков А.В., Леушин И.О. Фильтры в литье по выплавляемым моделям - конструирование и расчет // Оптимизация технологических процессов и управление качеством при производстве фасонных отливок: Тезисы доклада на НТК.- Рыбинск.- 1993.- С. 13.

11. Тимофеев Г.И., Нищёнков А.В., Леушин И.О., Чугунов В.К. Программные комплексы поддержки САПР литейной оснастки // Литейное производство.- 1994.- №2.- С. 27-28.

12. Нищёнков А.В., Тимофеев Г.И., Евстигнеев А.И., Афанасьев А.П. САПР пресс-форм для литья по выплавляемым моделям // Литейное производство.- 1994.- № 3.- С. 27-28.

13. Методика построения и принципы организации систем автоматизированного проектирования металлических форм . /Тимофеев Г.И., Леушин И.О., Нищёнков А.В.// Совершенствование процессов формообразования в литейном производстве: Н.-техн.сб.трудов.- Комсомольск-на-Амуре: изд-во КНАПИ, 1994.- С. 33-38.

Подписано к печати 21.10.94. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага писчая № 1.  
Печать офсетная. Уч-изд.л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 209. Бесплатно.

Лаборатория офсетной печати полиграфической базы НГТУ.  
603022, Н.Новгород, пр.Гагарина, 1.