

1544727

Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и
ордена Трудового Красного Знамени государственный
технический университет имени Н.Э. Баумана

На правах рукописи

Третьяк Сергей Павлович

Разработка и практическое опробование метода расчета
температурного режима пресс-форм литья под давлением
с целью обеспечения заданного качества поверхности
отливок.

Специальность 05.18.04. - Литейное производство

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

С.П. Третьяк

Москва - 1994

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской революции и ордена Трудового Красного Знамени государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана.

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент
Майоров В.Н.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Неустроев А.А.
кандидат технических наук, доцент
Новиков В.П.

Ведущее предприятие - НИИТАВТОПРОМ, г. Москва.

Защита состоится
К 053.15.13 в Москов-
тете имени Н.Э. Ба-
Бауманская ул. д.5.
С диссертацией
Ваш отзыв на
печатью, просим выс

Автореферат ра

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТА
Совета
кандидат технически

Тип. МГТУ им. Н.Э.
объем 1,0 п.л. Под

1544727

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность работы. В условиях обостряющейся конкуренции между различными способами литья приоритетны технологические процессы, которые обеспечивают: ресурсосбережение с тенденцией перехода к мало- или безотходному производству, высокую производительность, комплексную механизацию и автоматизацию процесса. Наиболее полно этим требованиям отвечает литье под давлением (ЛПД).

Расширение области применения ЛПД, увеличение номенклатуры изготавливаемых отливок возможно только при создании системы автоматизированного проектирования (САПР) технологии и оснастки, что позволит сократить сроки и трудоемкость проектных работ и уменьшить затраты, связанные с доводкой оснастки и технологического процесса литья.

САПР технологии и оснастки ЛПД должен включать ряд подсистем, одной из которых является подсистема расчета температурного режима работы пресс-формы. Температурный режим пресс-формы является одним из основных факторов, определяющих качество отливок, а также стойкость оснастки ЛПД.

Температурный режим пресс-формы определяется совокупностью процессов теплообмена, происходящих между отливкой, пресс-формой и окружающей средой. Результаты экспериментов показывают, что эти процессы носят неустойчивый характер. Основными факторами, определяющими процессы теплообмена являются: температура и масса заливаемого металла, конструкция пресс-формы, в том числе наличие систем охлаждения и нагрева, способы нанесения смазочного материала на рабочую поверхность пресс-формы. Существенное влияние на температурный режим пресс-формы оказывает нарушение темпа работы, что связано как с организационными причинами (отсутствие металла, нарушение энергообеспечения и т.п.), так и с поломками машин ЛПД.

Существующие в настоящее время методы расчета температурного режима пресс-форм основаны, главным образом, на обобщении производственного опыта или моделируют технологический процесс в течение одного цикла, не учитывая цикличности процесса. В результате, при запуске пресс-форм, часто приходится производить большой объем доводочных работ. Появившаяся в последнее

1544727
НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1544727



время мощная быстродействующая и доступная вычислительная техника, позволяющая реализовать численные методы решения сложных и больших по вычислительным процедурам задач, делает возможным создание и реализацию более точного метода расчета температурного режима пресс-форм ЛПД.

Проектирование пресс-форм ЛПД с учетом обеспечения заданного температурного режима при установившемся темпе работы машины, а также разработка методов регулирования этого режима доводит обеспечить и стабилизировать качество получаемых отливок, повысить стойкость пресс-форм.

Целью настоящей работы является повышение обоснованности выбора конструктивных параметров пресс-формы и технологических параметров процесса ЛПД, обеспечивающих сокращение срока проектирования пресс-формы и доводки технологического процесса литья.

Для достижения поставленной цели в работе было получено новое решение научной задачи: разработка метода расчета температурного режима пресс-формы ЛПД с учетом влияния технологических параметров литья.

Методы исследования. Теоретическое исследование температурного режима пресс-форм литья под давлением, влияния на него различных параметров технологического процесса литья выполнено на основе математического моделирования процессов теплообмена на ПЭВМ. Процессы теплообмена описывались системой уравнений, полученных из аппроксимации соотношений теплового баланса, записанных для элементарных объемов.

Для экспериментального исследования влияния слоя смазочного материала на теплообмен между отливкой и пресс-формой применялся метод заливки. Эксперименты выполнялись на реальной пресс-форме, установленной на машине литья под давлением, путем термометрирования. Температура в ходе технологического процесса литья измерялась при помощи термопар и регистрировалась на светолучевом осциллографе НО43.1. Эксперименты для исследования влияния давления, под воздействием которого находится слой смазки, на фазовые превращения, происходящие в этом

слое, производились на специальной моделирующей установке.

Оценку достоверности математической модели температурного режима пресс-форм ЛПД производили сравнением результатов натурных и численных экспериментов, а также с тестовыми тепловыми задачами, имеющими аналитическое решение.

Оптимизация конструктивных параметров систем терморегулирования и параметров технологического процесса изготовления отливок основана на использовании метода последовательного анализа и улучшения варианта технологии, принятого в качестве исходного приближения.

На защиту выносятся следующее научное положение: термическое сопротивление слоя смазочного материала при литье под давлением можно принимать постоянным в течение всего процесса термосилового взаимодействия отливки с пресс-формой.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Установлено влияние слоя смазочного материала на интенсивность теплового взаимодействия между отливкой и пресс-формой и определено, что слой смазочного материала, находящийся между отливкой и пресс-формой при литье под давлением, не претерпевает фазовых превращений.

2. Разработана математическая модель процесса переноса тепла, позволяющая рассчитывать температурный режим пресс-форм с учетом особенностей ее конструкции и цикличности технологического процесса литья под давлением.

3. Определены значения термического сопротивления слоя смазочного материала на основе масла МС-20 в условиях литья под давлением, величина которого зависит от температуры поверхности пресс-формы, при которой осуществлялось нанесение смазочного материала.

4. Разработан метод проектирования систем терморегулирования пресс-форм, позволяющий путем математического моделирования определить конструктивные и технологические параметры пресс-формы и процесса ЛПД, обеспечивающие заданный температурный режим работы.

Практическая ценность. Разработанный метод расчета температурного режима пресс-форм ЛПД позволяет на этапе проектиро-

вания определять конструктивные и технологические параметры пресс-формы и процесса литья, обеспечивающие заданные тепловые условия формирования отливок. Это позволяет снизить брак отливок и уменьшить объем доводочных работ при освоении пресс-форм.

Реализация работы в промышленности. Метод расчета температурного режима пресс-форм использован при разработке технологии изготовления литьем под давлением заготовок деталей повышенной сложности для спутникового телевидения в НИИ КМИП МГТУ им. Н.Э.Баумана.

Апробация результатов работы. Основные результаты работы доложены и обсуждены на:

- научных семинарах кафедры "Машины и технология литейного производства", МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1991, 1992, 1993 г.г.;
- семинаре "Прогрессивная технология и автоматизация литья под давлением", МДНТП, г. Москва, 1991 г.;
- семинаре "День новой техники и передового опыта в литейном производстве", Центральный Российский Дом знаний, г. Москва, 1993 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано три научные работы.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы из 98 наименований и содержит 237 страниц, в том числе 81 рисунок и 11 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении сформулированы актуальность проблемы, цель и научная задача исследования.

В первой главе приведен литературный обзор, показывающий связь качества отливок с температурным режимом пресс-форм; даны основные характеристики температурного режима; рассмотрены

основные методы определения температурных полей в пресс-формах; приведен анализ существующих способов регулирования и управления температурным режимом пресс-форм литья под давлением.

Анализ литературы показал, что температурный режим пресс-форм является одним из основных факторов, определяющих качество поверхности получаемых отливок и влияющий на стойкость оснастки. Для получения качественной отливки рабочая поверхность пресс-формы, перед заливкой в нее металла, должна иметь определенную температуру. При очень высокой температуре поверхности пресс-формы может произойти схватывание отливки о поверхность пресс-формы в отдельных, наиболее разогретых местах и в результате привести к появлению задигов - дефектов на поверхности отливки и даже к поломкам отливки или деталей пресс-формы при выталкивании отливки. Иногда при повышенной температуре пресс-формы на поверхности изготавливаемых отливок могут встречаться подутия. Если температура поверхности пресс-формы ниже требуемой то повышается опасность образования неспаев, брака типа "мороз" на поверхности отливок, неполного заполнения и других дефектов. В литературе даются рекомендации по назначению температуры поверхности этих пресс-форм перед запрессовкой, однако вопрос о том, как этой температуры достичь при разработке конкретного технологического процесса требует дальнейшего решения.

Температурный режим формы характеризуется распределением температур, уровнем и изменением их во времени. Он зависит от большого числа технологических параметров, основными из которых являются: темп работы, характеризующийся временными параметрами, температура заливаемого расплава, начальная температура формы, способ и время нанесения смазочного материала. В настоящее время мало изучено влияние слоя смазочного материала, находящегося между отливкой и пресс-формой, на интенсивность теплового взаимодействия отливки с пресс-формой.

Температура пресс-формы в одних и тех же точках изменяется как в течение одного цикла, так и от цикла к циклу. При постоянном темпе работы после определенного числа циклов температура пресс-формы в исследуемых точках в течение каждого следующего цикла изменяется в одних и тех же пределах от своего максимального значения до минимального значения, то есть

наступает установившийся температурный режим работы пресс-формы. В этом режиме не происходит накопления тепла в форме и распределение температур в одинаковые моменты времени каждого следующего цикла одинаково. Умение определять установившийся температурный режим пресс-формы на этапе проектирования при заданных технологических параметрах позволит существенно сократить сроки и трудоемкость проектных работ и уменьшить затраты, связанные с доводкой оснастки и технологического процесса литья.

Анализ литературы о существующих методах определения температурного режима пресс-форм выявил, что единственным методом, позволяющим определять температурное поле в пресс-форме с учетом всех временных параметров и цикличности процесса, является непосредственное измерение температуры в исследуемых точках формы. Несмотря на простоту этого метода он является весьма трудоемким. К тому же после изготовления пресс-формы возможности для изменения ее конструкции весьма ограничены. Известные методы математического моделирования и электрического аналогирования позволяют определять температурное поле в форме только в пределах одного цикла или среднюю установившуюся температуру пресс-формы, что не позволяет решить поставленную задачу.

Регулирование температуры пресс-формы в технологически необходимых пределах или термостатирование позволяет обеспечивать получение качественных отливок, оптимальный темп работы, высокую стойкость оснастки. Задачей регулирования температурного режима пресс-формы является обеспечение требуемого распределения температуры на всей рабочей поверхности формы, что необходимо для получения качественных отливок и обеспечение минимальной цикличности температуры по амплитуде, что необходимо для увеличения стойкости самой пресс-формы. Термостатирование предусматривает:

1. Предварительный подогрев пресс-формы перед началом работы до нижних пределов температур технологического интервала.
2. Регулирование температуры в процессе литейных циклов, преимущественно охлаждение пресс-формы (для основной номенклатуры деталей).
3. Регулирование температуры пресс-формы при вынужденных

и предусмотренных перерывах в работе, преимущественно нагрев.

4. Плавное снижение температуры пресс-формы до температуры окружающей среды при длительных перерывах в работе.

Анализ способов регулирования и управления температурным режимом пресс-форм показал, что наиболее перспективным является жидкостное термостатирование, при котором в пресс-форме по специальным каналам циркулирует жидкость. Для эффективного использования этого способа термостатирования необходимо уметь определять оптимальное расположение каналов системы терморегулирования в пресс-форме.

На основании литературного обзора были сформулированы основные задачи исследования:

1. Разработать математическую модель формирования температурного режима пресс-форм ЛПД, учитывающую цикличность технологического процесса и позволяющую рассчитывать температурное поле на этапе проектирования с учетом конфигурации отливки и наличия в пресс-форме системы терморегулирования. Осуществить ее программную реализацию на ЭВМ. Провести теоретические исследования влияния основных параметров технологического процесса ЛПД на температурный режим пр-с-форм.

2. Исследовать теплофизическое поведение слоя смазочного материала, находящегося между отливкой и пресс-формой. Определить его влияние на интенсивность теплового взаимодействия отливки с пресс-формой.

3. Опробовать полученные теоретические и экспериментальные результаты в производственных условиях.

Во второй главе разработан метод расчета температурного режима пресс-форм литья под давлением.

При разработке математической модели тепловых процессов, протекающих в пресс-форме литья под давлением, технологический цикл был разделен на четыре этапа, которые характеризуются одними и теми же технологическими параметрами, с точки зрения температурного режима, а тепловые процессы в пресс-форме описываются одними и теми же уравнениями.

Для получения системы алгебраических уравнений относительно искомой функции температуры применялся интегро-интерполяционный метод, при котором разностные уравнения получают не

из аппроксимации операторов дифференциального уравнения Фурье, описывающего процесс теплопереноса в пресс-форме, а из непосредственной аппроксимации самих соотношений теплового баланса, записанных для элементарных ячеек. При этом для тепловых потоков на границах используются выражения, обеспечивающие выполнение условий согласования. Применение этого метода позволило естественным образом получить консервативную разностную схему, что дало возможность применять грубые сетки, получая при этом достаточно точное решение.

Уравнение баланса в случае двумерной постановки задачи для элементарной ячейки с координатами (n, m) имеет вид:

$$\int_{X_{n-1/2}}^{X_{n+1/2}} \int_{Y_{m-1/2}}^{Y_{m+1/2}} \rho c_p (T^1 - T^{1-1}) dy dx = \int_{\tau_{j-1}}^{\tau_j} \left[-P_x(n+1/2) + P_x(n-1/2) - P_y(m+1/2) + P_y(m-1/2) \right] d\tau; \quad (1)$$

В левой части уравнения - количество теплоты, идущее на нагрев элементарной ячейки, а в правой части - тепловые потоки входящие и выходящие из элементарной ячейки.

Программная реализация математической модели выполнена на языке "Turbo Pascal 6.0". Разработанный метод расчета температурного режима пресс-форм литья под давлением проверен на точность и адекватность по известным решениям задач охлаждения и нагрева.

В третьей главе приведено экспериментальное исследование интенсивности теплового взаимодействия между отливкой и пресс-формой. В ней представлена методика определения тепловой проводимости слоя смазочного материала, находящегося между отливкой и пресс-формой, базирующаяся на методе заливки, разработанном Вейником А.И. Эксперименты проводились на реальной пресс-форме. Температура поверхности пресс-формы регистрировалась термоприемником специальной конструкции, аналогичной той, которую предложил Куранов В.Н. Изменение температуры поверх-

ности пресс-формы, регистрируемое термодатчиком в момент выдержки отливки в пресс-форме для "установившегося" цикла, показано на рис.1. Доказано, что термическое сопротивление слоя смазочного материала, находящегося между отливкой и пресс-формой, можно принимать постоянным на всем промежутке времени выдержки отливки в пресс-форме. В литье под давлением смазка, находящаяся между отливкой и пресс-формой, не претерпевает фазовых превращений, несмотря на высокую температуру. Отсутствие фазовых превращений в смазочном слое обусловлено высоким давлением, под воздействием которого находится смазка между отливкой и пресс-формой. Это доказывают эксперименты, проведенные на моделирующей установке. Моделирующая установка представляет собой фрагмент пресс-формы. В матрицу, которая моделирует формообразующую вставку пресс-формы, заливается расплав. При помощи пуансона через рычажную систему на расплав прикладывалось удельное давление до 1 МПа (в экспериментах на реальной пресс-форме расплав находился под воздействием удельного давления до 80 МПа). Изменение температуры поверхности формы в эксперименте на моделирующей установке, регистрируемое термодатчиком во время выдержки отливки в форме, показано на рис.2. Такой характер изменения температуры объясняется фазовыми превращениями, которые происходят в смазочном материале и вызывают изменения термического сопротивления слоя смазки.

Математическое моделирование условий эксперимента, проводимого на реальной пресс-форме, при помощи разработанной программы позволили выявить отличие в значениях температур, регистрируемой термодатчиком и реальной температурой поверхности пресс-формы. Это отличие объясняется конструктивными особенностями используемого термодатчика. На рисунке 3 показаны кривые изменения значения температуры во время кристаллизации отливки "Пластина" для одного цикла, регистрируемые термодатчиком и полученные расчетным путем по программе (кривая а) и кривая б) соответственно). Путем решения обратной задачи были получены зависимости для корректировки показаний термодатчика. При помощи этих зависимостей можно по показаниям термодатчика данной конструкции определять реальную температуру поверхности пресс-формы при литье алюминиевых сплавов.

Изменение значения термического сопротивления слоя сма-

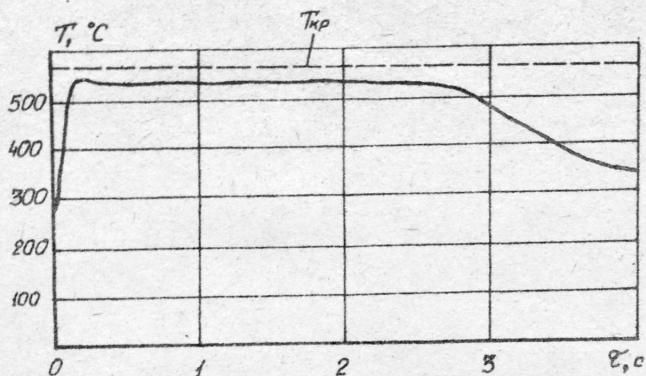


Рис.1. Изменение температуры поверхности в экспериментах на пресс-форме.

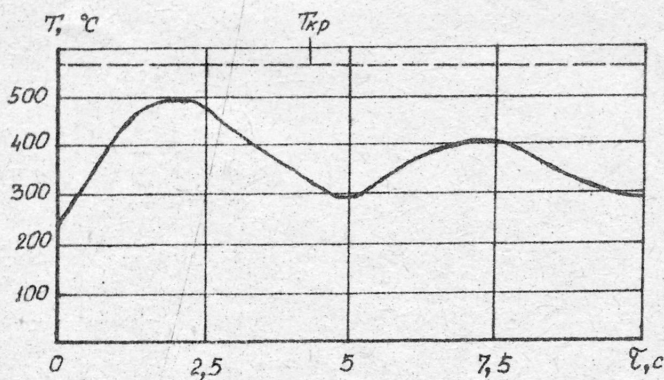


Рис.2. Изменение температуры поверхности в экспериментах на моделирующей установке.

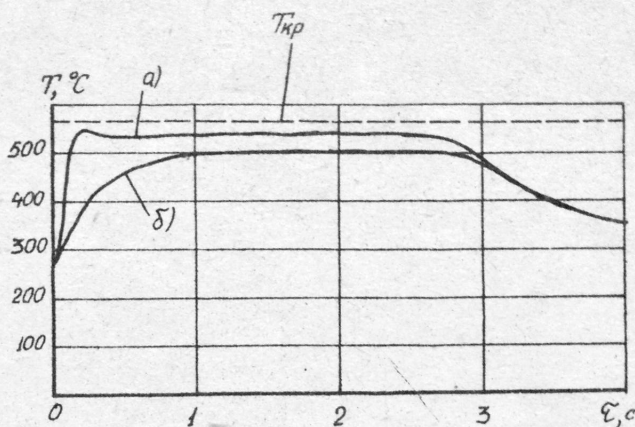


Рис.3. Изменение температуры поверхности
пресс-формы "Пластина"

а) регистрируемое термоприемником

б) полученное расчетным путем

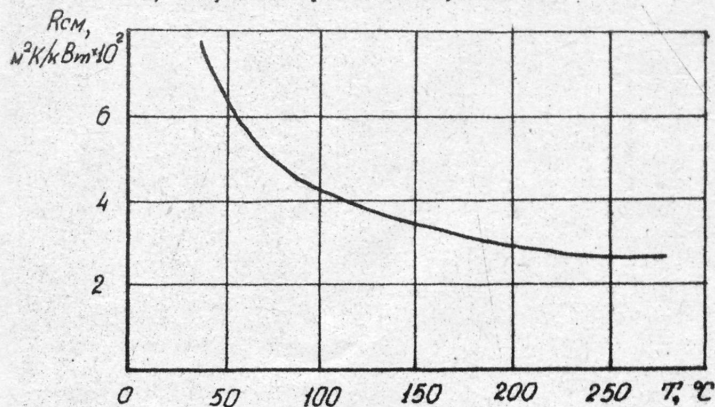


Рис.4. Зависимость значения термического сопротивления
слоя смазочного материала от температуры
поверхности пресс-формы.

сочного материала типа "ЛД", находящегося между отливкой и пресс-формой, в зависимости от температуры поверхности формы, при которой этот слой наносился, показано на рис. 4. Эта зависимость хорошо коррелирует с зависимостью толщины слоя смазочного материала от температуры поверхности пресс-формы, при которой смазочный материал наносился, полученной в работе Печенкиным В. Л.

Установлено, что коэффициент теплопроводности смазочного материала, находящегося между отливкой и пресс-формой, при литье под давлением является величиной постоянной и определяется значениями коэффициентов теплопроводности составляющих смазочного материала. Термическое сопротивление слоя смазки зависит от толщины этого слоя, который, в свою очередь, определяется температурой поверхности пресс-формы во время нанесения смазочного материала.

Путем сравнения результатов математического моделирования условий эксперимента на реальной пресс-форме с результатами самого эксперимента, а также результатов определения температуры формы по математической модели при различных значениях тепловой проводимости смазки обоснована необходимость учета слоя смазочного материала, находящегося между отливкой и формой, при расчетах температурного режима пресс-форм в литье под давлением.

В четвертой главе приведены результаты практического опробования разработанного метода расчета температурного режима пресс-форм, проведенного в НИИ КМИП МГТУ им. Н.Э. Баумана. Метод расчета температурного режима пресс-форм использовался при разработке технологии изготовления литьем под давлением заготовок деталей повышенной сложности для спутникового телевидения. Опробование проводилось на двух пресс-формах. Первая пресс-форма предназначена для изготовления отливок "Рамка", а вторая для изготовления отливок "Корпус". Обе пресс-формы не имеют системы охлаждения. Изготавливалась партия отливок 10000 штук каждого наименования.

Отливка "Рамка" с точки зрения технологического процесса литья под давлением является весьма технологичной. Было произведено термометрирование пресс-формы "Рамка" на различной глу-

бине во время изготовления отливок, а также был произведен расчет при этих условиях температурного режима формы по разработанному методу. Сравнение результатов термометрирования и результатов расчета температурного режима по разработанному методу показало, что погрешность вычислений по разработанной программе не превышает 8%. Это подтверждает правомочность использования разработанного метода расчета температурного режима пресс-форм для практического применения. При помощи математического моделирования на пресс-форме "Рамка" было исследовано влияние следующих технологических параметров на температурный режим:

- 1) температуры расплава перед заливкой;
- 2) времени нанесения смазочного материала;
- 3) времени выдержки отливки в пресс-форме;
- 4) времени выдержки пресс-формы в раскрытом состоянии перед смазкой;
- 5) времени выдержки пресс-формы в раскрытом состоянии после смазки.

Было установлено, что при отсутствии системы терморегулирования пресс-формы наиболее эффективным параметром для управления температурным режимом является изменение времени нанесения смазочного материала на формообразующую поверхность пресс-формы. Управлять температурным режимом пресс-формы можно также при помощи изменения температуры заливаемого расплава и изменением времени выдержки пресс-формы в раскрытом состоянии перед смазкой. Изменение времени выдержки отливки в пресс-форме, времени выдержки пресс-формы в раскрытом состоянии после смазки, а также в закрытом состоянии перед запрессовкой мало оказываются на температурном режиме пресс-формы.

Отливка "Корпус", в отличие от отливки "Рамка", является весьма сложной, имеет разностенную конструкцию, что говорит о нетехнологичности отливки с точки зрения требований, предъявляемых к отливкам, изготавливаемым литьем под давлением. Брак отливок в основном был обусловлен температурным режимом пресс-формы. Для изготовления отливок "Корпус" литьем под давлением с помощью разработанного метода расчета температурного режима пресс-форм была спроектирована технология литья на пресс-форме без системы охлаждения с применением локального

охлаждения формообразующей поверхности формы. Использование разработанной технологии позволило снизить брак отливок до 10%.

На примере пресс-формы для изготовления отливок "Корпус" при помощи разработанного метода расчета температурного режима показано проектирование системы охлаждения. Методика проектирования основана на вариантных расчетах температурного режима пресс-формы в "установившемся" режиме. Алгоритм проектирования построен на основе метода последовательного анализа и улучшения начального варианта технологии, разработанного проектировщиком.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.

1. Температурный режим пресс-форм ЛПД является одним из основных технологических параметров, определяющих получение качественных отливок. Известные способы расчета температурного режима не учитывают цикличности процесса литья под давлением, а также влияние слоя смазочного материала на интенсивность теплового взаимодействия между отливкой и пресс-формой.

2. На основе проведенных исследований разработан метод расчета температурного режима пресс-форм ЛПД, обеспечивающий расчет температурного поля пресс-формы с учетом особенностей ее конструкции, а также циклического изменения технологических параметров. Метод расчета и его программная реализация проверены на адекватность по тестовым задачам в лабораторных и производственных условиях.

3. Наличие слоя смазочного материала между отливкой и пресс-формой оказывает существенное влияние на интенсивность теплового взаимодействия между ними, что подтверждается сравнением результатов математического моделирования с результатами экспериментов.

4. При литье под давлением смазочный материал, находящийся между отливкой и пресс-формой во время кристаллизации и охлаждения отливки не претерпевает фазовых превращений, что объясняется наличием высокого давления, под воздействием которого находится слой смазочного материала.

5. Величина термического сопротивления слоя смазочного

материала зависит от толщины нанесенного слоя, величина которого определяется температурой поверхности пресс-формы, при которой этот слой смазочного материала наносился, а коэффициент теплопроводности смазочного материала в условиях литья под давлением близок к значению коэффициентов теплопроводности компонентов, из которых этот смазочный материал составлен.

6. Результаты математического моделирования температурного режима реальных пресс-форм показали, что наиболее эффективным параметром, влияющим на температурный режим работы пресс-форм - является время нанесения смазочного материала.

7. Результаты исследований и разработанный на их основе метод расчета температурного режима пресс-форм ЛПД были опробованы при реализации технологических процессов литья заготовок деталей "Рамка" и "Корпус". Погрешность в расчетах температурных полей пресс-форм не превышает 8%.

8. Разработанный метод расчета температурного режима пресс-форм ЛПД может быть использован в качестве технологической основы САПР пресс-форм литья под давлением.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Майоров В.Н., Третьяк С.П. Проектирование технологии на ЭВМ // Прогрессивная технология и автоматизация литья под давлением. - М.: МДНТП, 1991. - С. 11-15.

2. Майоров В.Н., Третьяк С.П. Определение термосопротивления слоя смазочного материала при литье под давлением // Литейное производство. - 1994. - №4. - С. 20-21.

3. Разработка и внедрение технологических процессов и оборудования для автоматизированного смазывания в закрытом состоянии пресс-форм литья под давлением и создание математических моделей и программ расчета на ЭВМ механизмов прессования и процессов получения отливок. Отчет по теме Т21.01-89 / МГТУ им. Н.Э.Баумана; Рук. темы В.Н.Зеленов; Г.Р. N 01900063854, Инв. N 02910032607. - М., 1990. - 73 с.