

Ш 86226

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

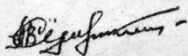
На правах рукописи

Сёмушкин Александр Владимирович

Использование вибрации с целью повышения стабильности
извлечения и качества сложных по съёму отливок из
алюминиевых сплавов при литье под давлением

Специальность 05.16.04. - Литейное производство

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук



Москва - 1992

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, с.н.с.
Зеленов В.Н.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Коростелев В.Ф.
кандидат технических наук, доцент
Кисиленко А.Е.

Ведущее предприятие – ПО "Москвич", г. Москва.

Защита состоится 16 ноября 1992 г. на заседании специализированного Совета К 053.15.13 в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана по адресу: 107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская ул. в 5.

С диссертацией можно

Ваш отзыв на автореферат, просим выслать по почте.

Автореферат разослан

УЧЕНИИ СЕКРЕТАРЬ
специализированного Совета
кандидат технических наук

Тип. МГТУ им. Н.Э. Баумана
объем 1,0 п.л. Подпись

М867 26

1186.426

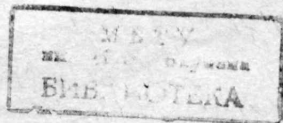
Актуальность темы. Одним из наиболее эффективных и перспективных способов получения отливки является литье под давлением (ЛПД). Этот способ позволяет получать тонкостенные сложные отливки с высокой чистотой поверхности и минимальными припусками на механическую обработку. Одной из проблем при литье под давлением является стабильное извлечение отливки из пресс-формы с высоким качеством поверхности. Наиболее перспективным решением данной проблемы является нанесение жидкого смазочного материала на поверхность пресс-формы в закрытом состоянии. Этот способ, разработанный в МВТУ, позволяет: получать отливки с минимально необходимым равномерным слоем смазочного материала на поверхности пресс-форм; повысить санитарно-гигиенические условия труда и пожаробезопасность в цехах литья под давлением. Однако способ смазывания пресс-форм в закрытом состоянии (СПЗС) из-за специфических условий нанесения жидкого смазочного материала, может быть реализован только для простых и средних по сложности съема отливок. Но существует достаточно большая группа сложных по съему отливок, к которым предъявляются повышенные требования по герметичности и качеству поверхности.

Получать такие отливки очень сложно, так как для стабильного съема необходимо большое количество смазочного материала на поверхности пресс-формы (ПФ), а это приводит к повышению пористости отливки.

Устранить это противоречие можно, используя совместно минимально необходимый слой смазочного материала на поверхности ПФ и вибрации, наложенную на отливку. Однако об использовании вибрации для облегчения съема отливки при ЛПД из литературных источников неизвестно.

Целью работы является повышение стабильности извлечения и качества поверхности, сложной по съему отливки из алюминиевого сплава при использовании минимально необходимого слоя смазочного материала.

Научная задача, на основе которой достигалась цель работы, заключалась в выявлении взаимосвязи основных технологических режимов литья и конструктивных параметров сложных по съему отливок с процессом силового взаимодействия между пресс-формой и отлив-



кой в период ее формирования при использовании вибрации.

Методы исследования. Для решения научной задачи использовали методы теоретического анализа процессов, происходящих при формировании микрорельефа отливки и его разрушения во время съема отливки с наложением вибрации и без неё, а также экспериментального исследования влияния этих процессов на стабильность съема и качество поверхности отливки. Теоретическое исследование процессов формирования микрорельефа и его разрушения при съеме отливки с использованием вибрации и без неё выполняли с помощью ЭВМ. Для определения оптимального направления наложения вибрации на отливку была разработана методика анализа эффективности её съема, основанная на подобии процессов, происходящих при трении двух тел и съеме отливки, а также зависимости стабильности съема и качества поверхности отливки от усилия её съема. При этом использовалась модернизированная установка МВТУ-2, позволяющая моделировать процесс съема отливки с различным направлением наложения вибрации. Для исследования процесса съема отливки с наложением на неё продольной вибрации использовалась методика, позволяющая контролировать величину усилия съема отливки со стержня. Контроль усилия съема, характеризующего его стабильность и качество поверхности отливки, осуществляли с помощью измерительного стенда конструкции МВТУ (осциллограф Н-115). Для определения глубины затекания расплава и внедрения корочки затвердевшего металла в микронеровности пресс-формы (ПФ), а также влияния вибрации на микрорельеф отливки была разработана методика съема отливки со стержня без разрушения её микрорельефа. С полученных таким образом поверхностей отливки снимали профилограммы. Результаты экспериментальных исследований обрабатывали методами математической статистики.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработана математическая модель извлечения отливки с продольной вибрацией, позволяющая установить влияние расположения вибратора, параметров вибрации, состояния поверхности пресс-формы и режимов литья на стабильность извлечения и качество поверхности сложных по съему отливок.
2. Установлено, что формирование микрорельефа отливки при литье под давлением происходит в основном на начальной стадии подпрессовки и зависит от геометрии микрорельефа пресс-формы, наличия смазочного материала на его поверхности и технологичес-

ких режимов литья.

3. Установлено, что совместное использование продольной вибрации звуковой частоты с амплитудой колебания более 0,8 шага микронеровности и минимально необходимого слоя смазочного материала на поверхности пресс-формы приводит к повышению стабильности извлечения и качества поверхности сложных по съему отливок из алюминиевых сплавов.

Практическая ценность работы заключается в том, что на основании результатов исследований было найдено решение проблемы получения сложных по съему отливок из алюминиевых сплавов литьем под давлением с минимальным количеством смазочного материала на поверхности пресс-формы. Использование продольной вибрации звуковой частоты совместно со способом смазывания пресс-формы в закрытом состоянии позволяет не только расширить область применения СПЗС на сложные по съему отливки из алюминиевых сплавов, но и существенно повысить качество их поверхности и снизить пористость. Разработанные модели позволяли определить требования к размещению вибратора, а также оптимальные параметры вибрации и режимы литья для использования этого способа в производстве.

Реализация работы в промышленности. Совместное использование вибрации и минимального слоя смазочного материала, наносимого на пресс-форму СПЗС, для получения сложных по съему отливок из алюминиевых сплавов литьем под давлением заинтересовали ряд заводов: "Точлитмаш", г. Тирасполь; ПО "ЗИФ", г. Пенза.

Апробация работы. Основные материалы диссертации доложены и обсуждены:

- на семинаре "Прогрессивная технология и автоматизация литья под давлением", ИДНТП, г. Москва, 1991г.;

- на научных семинарах кафедры "Машины и автоматизация литейного производства", ИГТУ им. Н.Э. Баумана, 1990, 1991, 1992 г.г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 2 статьи.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов, списка использованной литературы (94 наименования) и приложений. Работа изложена на 132 страницах машинописного текста, содержит 67 рисунков, 5 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1 включает в себя: анализ способов повышения стабиль-

ности съёма и качества поверхности отливки, получаемой литьём под давлением; классификации отливок по сложности съёма; анализ процессов, происходящих при съёме отливки со стержня; исследование влияния вибрации на трение.

Анализ способов повышения стабильности съёма и качества поверхности отливок показал что, несмотря на их большое количество, наиболее распространенным остается нанесение на ПФ видкого смазочного материала (СМ). Однако использование СМ, повышая стабильность съёма и уменьшая вероятность образования задира, коробления и прошивки отливки, приводит к повышению её пористости и ухудшению герметичности. Устранить это противоречие позволяет способ смазывания ПФ в закрытом состоянии. Но специфические условия нанесения СМ на поверхность ПФ не позволяют эффективно использовать его для сложных по съёму отливок. С другой стороны, анализ показал, что для повышения стабильности съёма и качества поверхности отливки можно применять вибрацию. Поэтому было сделано предположение, что для сложных по съёму отливок можно использовать вибрацию совместно с минимально необходимым слоем СМ.

Термин "сложная по съёму отливка" не определён, так как нет классификации отливок по сложности съёма. Поэтому с целью определения границ совместного использования СПЗС и вибрации была разработана такая классификация. Сложность съёма отливки в ней определяется в зависимости от ряда факторов. К ним относятся: требования к качеству поверхности отливки; материал; количество, расположение и протяженность отверстий; величина литейных уклонов; толщина стенок; количество отливок в форме; доступность ПФ для смазывания. Классификация основана на методе балльных оценок. В зависимости от количества баллов, набранных отливкой, их разделяли на три группы: простые, средней сложности и сложные. Анализ показывает, что количество сложных по съёму отливок составляет более 10% от всей номенклатуры.

Анализ литературы по исследованию процессов, происходящих на границе раздела между отливкой и ПФ, выявил, что при съёме отливки происходит разрушение её материала, проникающего в микронеровности ПФ. Однако, величина этого проникновения и её влияние на характер разрушения до настоящего времени не определены.

Литературный обзор по вопросу воздействия вибрации на трение показал сложный характер этого воздействия. В зависимости от направления наложения, времени воздействия, амплитуды и частоты

колебаний положительное влияние вибрации на уменьшение коэффициента трения проявляется через изменение механических свойств и геометрии контактирующих поверхностей. Анализ литературных данных выявил отсутствие сведений об использовании вибрации для повышения стабильности съема и качества поверхности отливки при литье под давлением. Использование же данных о применении вибрации для облегчения съема отливки со стержня при литье в кокиль не представляется возможным из-за различий в высоте и характере микрорельефа отливки, а также из-за различий в толщине и свойствах СМ при ЛПД и краски при литье в кокиль.

На основании литературного обзора были сформулированы основные задачи исследования:

1. Определить оптимальный вариант использования вибрации для повышения стабильности извлечения и качества поверхности отливки.
2. Разработать физическую и математическую модели съема отливки с наложением вибрации с целью определения влияния расположения вибратора и параметров вибрации, а также состояния поверхности ПФ и режимов литья на эффективность съема отливки.
3. Экспериментально подтвердить соответствие физико-математической модели реальным процессам, происходящим при съеме отливки. По результатам исследований сделать рекомендации для внедрения в производство.
4. Теоретически разработать и экспериментально подтвердить физическую модель взаимодействия микрорельефа отливки и пресс-форм с наложением вибрации с целью объяснения её положительного влияния на процесс съема.

Глава 2 посвящена определению оптимального направления наложения вибрации. В ней представлены методика проведения и результаты экспериментов, а также их теоретическое объяснение.

Методика проведения экспериментов по определению оптимального направления наложения вибрации разработана на базе моделирующей установки МВТУ-2. Методика позволяет определять эффективность различного направления наложения вибрации на отливку при съеме. Она основана на подобию процессов, происходящих при трении двух тел и съеме отливки, а также прямой зависимости стабильности съема и вероятности образования задира, коробления, прошивки и разрушения отливки от усилия её съема. Вибрация соз-

давалась в системе колебаний, состоящей из генератора колебаний, предварительного усилителя, усилителя мощности и магнитострикционного вибратора. При проведении экспериментов определялась сила трения между двумя телами, моделирующими съём отливки со стержня. Её значение определялось с помощью установленного в напорной полости гидроцилиндра датчика давления и записывалось на осциллографе. Эффективность того или иного варианта наложения вибрации определяли с помощью относительного усилия съёма отливки

$$\Delta F = \Delta P = \frac{P_i}{P_{\delta/\delta}} = \frac{F_i}{F_{\delta/\delta}} \quad (1)$$

где $F_{\delta/\delta}$ и F_i - усилие съёма отливки без использования вибрации и с наложением вибрации i -ой частоты, $P_{\delta/\delta}$ и P_i - давление в напорной полости гидроцилиндра без использования вибрации и с наложением вибрации i -ой частоты.

В результате проведенных экспериментов установлено (рис.1), что продольное наложение вибрации (кривая 2) более эффективно, чем поперечное (кривая 1) во всем спектре исследуемых частот.

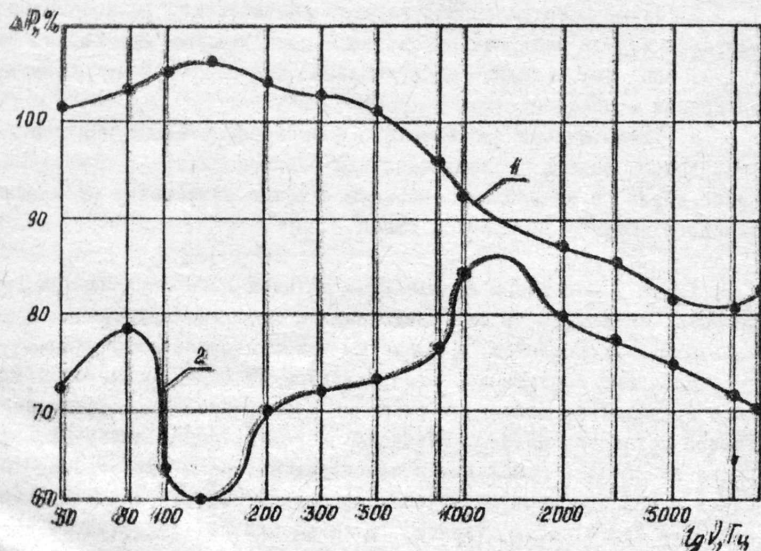


Рис.1. Кривые изменения относительного усилия съёма отливки, полученные на моделирующей установке для различного направления наложения вибрации: 1 - поперечного, 2 - продольного.

Максимальная величина снижения относительного усилия съема для поперечных колебаний (кривая 2) составляет 30-40%. Проведенные эксперименты также показали, что эффективность использования вибрации значительно зависит от частоты колебаний.

Установлено, что усилие съема отливки при постоянной частоте колебаний значительно зависит от соотношения скоростей съема V_0 и колебаний V_K , причем уменьшение скорости съема отливки V_0 приводит к повышению эффективности вибрации. Экспериментальные исследования показали, что продольные колебания и здесь более эффективны, чем поперечные.

Приводится также аналитическое исследование влияния соотношения скоростей V_0 и V_K на эффективность вибрации при съеме. Это влияние рассматривалось с позиций изменения контактного взаимодействия двух поверхностей в результате изменения направления суммарной скорости V_c и силы трения $F_{тр}$. Расчетные зависимости качественно совпадают с экспериментальными кривыми.

Глава 3 посвящена исследованию съема отливки с наложением продольной вибрации. В ней представлена разработанная физико-математическая модель съема отливки с наложением продольной вибрации и программа расчета по ней, а также созданная методика и результаты экспериментальных исследований по подтверждению модели.

При разработке физико-математической модели рассмотрены процессы формирования микрорельефа отливки и последующего его разрушения при съеме отливки. Для создания модели было принято ряд допущений: отливка снимается с круглого стержня; микронеровности равномерно распределены по поверхности стержня с шагом l_m , имеет треугольную форму и постоянную высоту h_m ; СМ на поверхности стержня отсутствует.

Стадии формирования микрорельефа отливки в модели рассматриваются как этапы заполнения микронеровностей ПФ её материалом. Исследовалось затекание расплава, проникновение корочки затвердевшего металла и внедрение материала отливки в микронеровности ПФ при усадке. Затекание расплава определялось с учетом его жидкотекучести и поверхностного натяжения, а также противодействия газа (воздуха) в отсеченных объемах микровпадин ПФ. Проникновение корочки затвердевшего металла в микровпадины ПФ Δh рассматривалось в момент начала подпрессовки, так как в это время корочка затвердевшего металла имеет минимальную толщину $\delta_{кор}$, а

давление P на неё — максимальное значение, складывающееся из давления подпрессовки $P_{под}$ и гидравлического удара $\Delta P_{г.у.}$. При расчёте этого проникновения учитывался прогиб и внедрение корочки (аналогично внедрению жесткого клина в пластическое полупространство), а также противодействие газа в микровпадинах ПФ P_g . Совокупность этих трёх факторов дала уравнение расчёта Δh из условия равенства давления жидкого металла $P_{жм}$ и противодействия газа на корочку P_g . Кроме того, в модели рассматривалось влияние усадочных процессов, происходящих при охлаждении отливки, на величину Δh .

В результате расчетов и экспериментальных исследований было установлено, что основным фактором, определяющим глубину внедрения материала отливки в микровпадины ПФ, является проникновение, происходящее в начальный момент подпрессовки. Величина проникновения в этот период составляет 85–90% от общего проникновения. Затекание расплава, которое по данным В.А. Печёнкина является основной составляющей проникновения, составляет по расчетным данным 1–6%, а по экспериментальным 8–15% от общего проникновения. Расчеты показали, что величина внедрения в микровпадины ПФ при усадке в период от начала подпрессовки до её окончания составляет менее 1%, а в дальнейшем вообще не изменяется.

Сформировавшийся микрорельеф отливки во время съёма разрушается. Причем в зависимости от конструкции отливки и глубины проникновения её микронеровности срезаются, сминаются или частично срезаются (при "сползании" отливки со стержня). Величина усилия деформирования микронеровностей отливки без вибрации определялась аналогично расчету разрушения резьбы. Отличием являлось исключение из формул расчета резьбовых соединений на срез, смятие и "сползание" коэффициентов, характеризующих неточность их изготовления. Правомочность такого исключения подтверждается характером кривых разрушения резьбы и микронеровностей отливки. Для разрушения резьбы пик усилия разрушения наступает через определенный промежуток времени, необходимый для устранения неточностей при изготовлении резьбы. При разрушении микронеровностей отливки пик усилия наступает практически сразу после начала движения отливки.

Влияние вибрации на изменение усилия съёма рассматривалось в зависимости от частоты колебаний ν и количества циклов нагружения n , полученных отливкой до начала съёма. При количестве

циклов нагружения Γ менее 1000 вибратор рассматривался как дополнительный источник силы. При $\Gamma > 1000$ влияние вибрации на усилие съема определялось по зависимости, полученной с помощью регрессионного анализа экспериментальных данных В.А. Кувшинова и Г.Б. Мосилевича, И.А. Кудрявцева и В.В. Харитонов. При резонансной частоте вибратор также рассматривался как дополнительный источник силы, но с учетом резонансной амплитуды колебаний. Эффективность вибрации определялась при помощи формулы 1. На базе созданной физико-математической модели была разработана программа расчета на ЭВМ SEMAL. Для её разработки было принято, что формирование микрорельефа отливки начинается и заканчивается в первоначальный период подпрессовки.

С целью проверки соответствия созданной физико-математической модели реальным процессам, происходящим при съеме отливки с использованием продольной вибрации, была разработана методика проведения экспериментов, позволяющая исследовать влияние различных факторов на эффективность использования вибрации. Для этого на машину ЛПД устанавливался магнитострикционный вибратор. Вибрация от него передавалась на отливку через специальное приспособление (переходник). Вибратор располагался на машине таким образом, что продольная вибрация отливки осуществлялась с начала раскрытия ПФ до начального момента страгивания отливки при съеме (путь отливки до прекращения передачи вибрации составлял 0,5 амплитуды колебания). Эксперименты проводились на отливке "Чашка". Она снималась с круглого стержня диаметром 0,1 м. Усилие съема отливки измерялось с помощью датчика давления, установленного в напорной полости гидроцилиндра выталкивания, и записывалось на осциллографе. О положительном влиянии вибрации судили по относительному усилию съема отливки, рассчитываемому по формуле 1.

На рис. 2 приведены зависимости относительного усилия съема отливки "Чашка" от частоты колебаний при одинаковых условиях. Из него видно, что, несмотря на количественные расхождения, экспериментальная (1) и расчетная (2) кривые качественно совпадают. Они имеют резонансные "ямки" и при увеличении частоты колебаний на обеих кривых видно существенное повышение эффективности вибрации. Их количественные различия объясняются принятыми допущениями, сложностью процессов, происходящих при формировании и разрушении микрорельефа отливки в реальных условиях, отсутствием

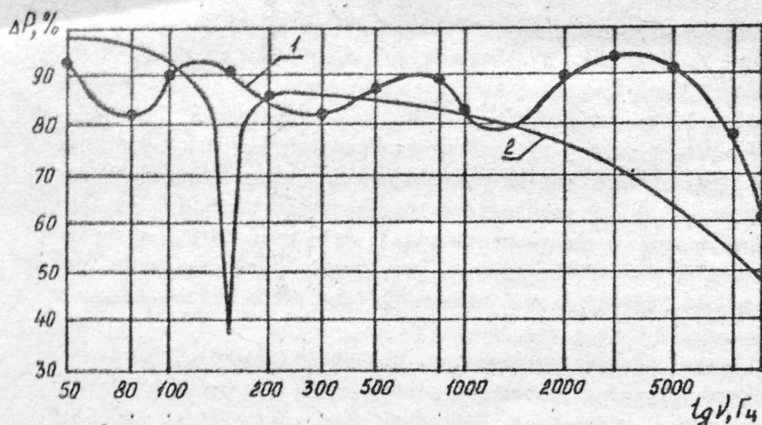


Рис.2. Кривые изменения относительного усилия съема отливки, полученные при наложении на неё продольных колебаний: 1 – экспериментально (на машине ЛПД), 2 – расчетным путем.

исчерпывающих сведений о влиянии вибрации на механические свойства материалов. Сравнение экспериментальных кривых, полученных на моделирующей (кривая 2 рис.1) и экспериментальной установках, (кривая 1 рис.2) показывает, что изменение ΔP от ν на них носит адекватный характер.

Проведенные экспериментальные исследования на машине ЛПД по влиянию технологических режимов литья, параметров вибрации и состояния поверхности ПФ на эффективность использования продольной вибрации показали, что разработанная физико-математическая модель качественно совпадает с процессами, происходящими в реальных условиях. В результате этих исследований установлено, что уменьшение температуры заливаемого металла T_3 , скорости второй фазы прессования V_{np} , времени выдержки отливки в ПФ τ , высоты микронеровностей на ПФ z_m , а также увеличение амплитуды ξ , частоты колебаний ν и времени воздействия вибрации до начала съема отливки – увеличивает эффективность использования продольной вибрации. Экспериментальное исследование влияния слоя сма-

зочного материала на эффективность использования вибрации при съеме отливки, показало его неоднозначный характер. Было установлено: увеличение дозы СМ выше оптимальной, для отливки "Чайка" с 0,4 до 0,6 г, приводит к повышению эффективности вибрации; уменьшение дозы СМ с 0,4 до 0,28-0,3 г - не ухудшает эффективность; снижение дозы СМ до 0,2-0,25 г - существенно ухудшает съём отливки. Причем, было замечено, что усилие съёма отливки при дозе СМ менее 0,28, возрастает от запрессовки к запрессовке, что характеризует рост вероятности образования задира. Анализ физико-математической модели позволил сформулировать требования к размещению вибратора на машине ЛПД.

В главе 4 рассмотрены процессы, происходящие на поверхности контактирующих тел при движении отливки, и влияние использования продольной вибрации до начала съёма на её стабильность и качество поверхности отливки. Для этого была создана физическая модель контактного взаимодействия микронеровностей ПФ и отливки при съёме без воздействия вибрации и с её продольным наложением. Влияние вибрации на состояние поверхности отливки перед её съёмом, исследовали экспериментально. С этой целью была разработана методика их проведения, позволяющая получать отливку без разрушения её микронеровностей при съёме.

При создании физической модели контактного взаимодействия микронеровностей ПФ и отливки без использования вибрации было принято ряд допущений: микронеровности расположены на поверхности ПФ равномерно с шагом l_m , имеют треугольную форму, одинаковую высоту h_m и угол при основании β ; отливка является жесткопластическим, а ПФ - жестким телом; скорость V_0 является постоянной. С учетом этих допущений процессы, происходящие на поверхности отливки, можно рассматривать на примере деформирования жесткопластического полупространства жестким клином. Причем жесткопластический материал отливки находится в условиях плоской деформации, описываемой теорией Мизеса. Аналитическое решение уравнений, вытекающих из этой теории, было получено Н.М. Алексеевым и И.В. Крапельским с помощью метода построения разрывных кинематически возможных схем пластического течения, основанного на экспериментальных теоремах пластичности. Воспользовавшись рядом формул, полученных в ходе этого решения, была создана программа расчета на IBM AccountSA величины задира на отливке в за-

висимости от перемещения Δh , β , X . Расчеты по ней для сплавов АЛ-2 и ЦАМ-4 показывают, что образование задира на отливке из цинкового сплава существенно сдвинуто в область большей величины U , что подтверждается практикой их литья и экспериментальными исследованиями В.Л. Печёнкина. С её помощью установлено, что при $U = \Delta h / \epsilon_m < U_{кр}$ идет стационарный процесс срезания микронеровностей отливки и величина частиц износа соизмерима с величиной микронеровности ПФ, при $U \geq U_{кр}$ процесс деформирования во время движения отливки носит нестационарный характер, перед микронеровностью ПФ образуется нарост из материала отливки, который, увеличиваясь и упрочняясь, образует задира на отливке. Кроме Δh на величину задира важное влияние оказывает предел текучести материала отливки до начала движения $\sigma_{то}$ и после упрочнения при движении $\sigma_{тп}$, а также расположение очага задира на ПФ (путь X пройденный отливкой относительно него) и величина β . Установлено, что уменьшение отношения $\sigma_{тп} / \sigma_{то}$, величины перемещения X и угла β приводит к существенному снижению величины частицы износа, задира на отливке, а следовательно, и вероятности её коррозии, прошивки и разрушения.

Для объяснения положительного влияния продольной вибрации была создана физическая модель контактного взаимодействия микронеровностей ПФ и отливки с использованием продольной вибрации. Её влияние на свойства материала отливки можно разделить на несколько стадий в зависимости от количества циклов нагружения и силы одного виброудара: увеличение прочности материала отливки; образование микротрещин на микронеровностях отливки; рост микротрещин; срыв (разрушение) микронеровностей. Увеличение прочности материала отливки до начала её съёма приводит к уменьшению отношения $\sigma_{тп} / \sigma_{то}$ и смещает зону образования задира на отливке в сторону увеличения Δh . Это подтверждается расчетами по программе AccountSA. После образования микротрещин на микронеровностях отливки разрушение их при съёме может происходить по этим трещинам. Причём, чем больше величина этой трещины, тем выше вероятность разрушения микронеровности по ней. А если произошло такое разрушение, то в самом начале движения величина Δh практически равна нулю.

Для проверки этой физической модели была разработана методика проведения экспериментов, позволяющая получать отливку без разрушения микрорельефа, сформировавшегося до её съёма. Для это-

го стержень, оформляющий полость отливки, делали съёмным. Отливка после затвердевания в форме извлекалась из неё вместе со стержнем. Затем отливка расплющивалась и её поверхность исследовалась с помощью профилографа. Анализ профилограмм, полученных без наложения вибрации и с её наложением, показал, что большое количество циклов нагружения на отливку до начала съёма n ($6 \cdot 10^5$ циклов) — приводит не только к разрушению микронеровностей, но и к приработке поверхности отливки. В реальных условиях съём отливки происходит на стадии стационарного роста трещины (при $n = 10^4 - 10^6$).

Таким образом, можно утверждать, что разработанная физическая модель контактного взаимодействия микронеровностей ПФ и отливки с использованием продольной вибрации удовлетворительно отражает процессы, происходящие в реальных условиях.

Глава 5 содержит исследования влияния вибрации на санитарно-гигиенические условия труда и надёжность работы машин АПД, а также практические рекомендации по применению вибрации в производстве для улучшения съёма отливок.

Замеры вибрации машины АПД и на рабочем месте оператора показали, что работающий вибратор не вносит дополнительных колебаний. Замеры шума вибратора на фоне работающей печи и машины АПД показывают, что при работающей машине вибратор практически не вносит изменений в шум машины (изменения в зависимости от частоты составляют 0 — 1,2 дБ). А так как использование продольной вибрации позволяет снизить расход смазочного материала на 25–30%, то существенно снижаются и выбросы паров СМ, что повышает санитарно-гигиенические условия труда и пожаробезопасность в цехах литья под давлением. Если для сложных по съёму отливок будет использоваться вместо инъекционного способа нанесения СМ — СПЗС совместно с продольной вибрацией, то уменьшение выбросов паров СМ будет меньше в несколько десятков раз.

В главе приводятся рекомендации по использованию вибрации в производстве. Установлено, что область рационального использования продольной вибрации распространяется на сложные по съёму отливки, то есть тонкостенные с небольшими литейными уклонами, протяжёнными стержнями, высокими требованиями по пористости и качеству поверхности. Приводятся рекомендации по выбору вибратора и его размещению на машине АПД, а также по параметрам вибра-

ции и решимым литья. Показано оптимальное размещение вибратора на машине ЛПД для отливки "Чашка".

Общие выводы

1. Разработанные физическая и математическая модели процесса образования микрорельефа отливки, а также проведенные эксперименты на машине ЛПД, позволяют утверждать, что формирование микрорельефа на отливке в основном происходит и заканчивается на начальной стадии подпрессовки.

2. Теоретические и экспериментальные исследования различных вариантов использования вибрации с целью повышения стабильности съема и качества поверхности отливки показали, что продольное наложение вибрации более эффективно, чем поперечное.

3. Разработанные физическая и математическая модели процесса извлечения отливки с наложением продольной вибрации позволили установить взаимосвязь режимов литья (температуры заливаемого металла, скорости второй фазы прессования, времени выдержки отливки в форме, скорости съема) и параметров вибрации (времени воздействия, амплитуды и частоты колебаний) со стабильностью извлечения, а также уменьшением вероятности образования задира, прошивки и коробления отливки.

4. Установлено, расположение вибратора на машине литья под давлением является оптимальным, когда выполняются следующие условия: объект воздействия вибрации - отливка; направление воздействия - параллельно съему отливки со стержня; характер воздействия - реверсивный (возвратно - поступательный); длительность воздействия - с момента начала раскрытия пресс-формы до окончания извлечения отливки; масса вибрирующих деталей - минимальна, а жесткость - максимальна.

5. Образование задира на отливке при съеме зависит от степени заполнения микронеровности пресс-форм материалом отливки φ . При $\varphi = \Delta h / \epsilon_m < \varphi_{кр}$ задр не образуется, а если $\varphi \geq \varphi_{кр}$ - то процесс съема отливки идет с образованием задира, величина которого в значительной степени определяется величиной пластичности материала отливки до и после начала упрочнения при наклепе во время съема $\epsilon_{то}$ и $\epsilon_{тп}$. Вибрационное воздействие на зону контактного взаимодействия микронеровностей пресс-форм и отливки до начала съема приводит к многоцикловому усталостному разрушению микронеровностей отливки, которое, в зависимости от количества

циклов нагружения до начала съема, можно разделить на несколько стадий: уменьшение пластичности материала отливки; образование трещины; рост трещины; полное разрушение микронеровности.

6. Уменьшение вероятности образования задира, коробления и прошивки отливки во время ее съема при использовании вибрации происходит: при уменьшении пластичности материала отливки – за счет увеличения $U_{кр}$; при образовании и росте трещины – за счет увеличения вероятности разрушения микронеровности по этой трещине при съеме, что приводит к уменьшению U в самом начале движения отливки; при полном разрушении микронеровности – за счет уменьшения U перед съемом отливки.

7. Анализ физических и математических моделей, а также проведенные экспериментальные исследования показали, что наложение продольной вибрации на отливку позволяет уменьшить нанесение минимально необходимого слоя смазочного материала на поверхность пресс-форм на 25 – 30%, не ухудшая стабильности съема, повышая качество поверхности и снижая пористость отливки. Кроме того, использование вибрации улучшает санитарно-гигиенические условия труда и пожаробезопасность в цехах литья под давлением за счет уменьшения выбросов смазочного материала в атмосферу. Последнее особенно сильно проявляется при совместном применении вибрации и способа смазывания пресс-формы в закрытом состоянии.

8. Совместное использование вибрации и прогрессивного способа смазывания пресс-форм в закрытом состоянии расширяет область его применения практически на все сложные по съему отливки, количество которых составляет более 10% от общей номенклатуры отливок, получаемых литьем под давлением.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Семушкин А.В., Плехов Н.В., Ромахов В.А. Исследование процессов испарения и конденсации смазочных материалов при литье под давлением // Известия вузов. Машиностроение. – 1991. – № 4-6. – С.113-117;

2. Семушкин А.В., Зеленев В.Н. Исследование съема отливки с наложением вибрации при литье под давлением // Прогрессивная технология и автоматизация литья под давлением: Материалы семинара. – М.: МДНТП, 1991. – С. 50-55.