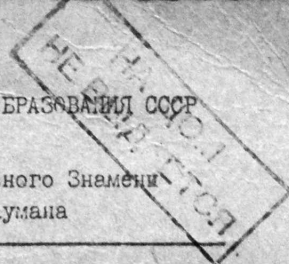


M359608



МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Московское ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э. Баумана

На правах рукописи

КУКСИН ЮРИЙ ФЕДОРОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ФОРМ ЧИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ
И РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ
(на примере форм для алюминиевых сплавов)

Специальность 08.00.05 - Экономика, организация
управления и планирова-
ния народным хозяйством
(промышленность)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва

1980

Работа выполнена в Московском высшем техническом
училище им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель – к.т.н. доцент Глаголева Л.А.

Официальные оппоненты: д.э.н. доцент Карпов Л.Д.

к.т.н. доцент Валуев С.А.

Ведущее предприятие – указано в решении специа-
лизированного Совета.

Защита диссертации состоится "26" мая 1980 г.
на заседании специализированного Совета по органи- ции производ-
стве и управлению качеством КО53.15.16 Московского ордена Лени-
на и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического учи-
лища имени Н.Э.Баумана.

Адрес – 107005, г. Москва, 2-я Бауманская, 5.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просьба
выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ имени
Н.Э.Баумана.

Автореферат

УЧЕНЫЙ

кандидат т

M359608

Тип. М

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ,

8096558 W

А к т у а л ь н о с т ь. Задача повышения эффективности производства и качества продукции, поставленная XXV съездом КПСС, в машиностроении неразрывно связана с широким внедрением прогрессивных методов получения точных заготовок, не требующих значительной последующей обработки. Одним из наиболее экономичных и производительных способов получения точных заготовок является литье под давлением. При этом около 50% всего литья под давлением в СССР и за рубежом изготавливается из алюминиевых сплавов. Большая степень приближенности конфигурации отливки к форме готовой детали, точность размеров и малая шероховатость поверхности, а также высокая производительность процесса, способствуют снижению затрат на получение изделия. Однако, себестоимость изготовления отливок из сплавов алюминия этим методом остается до сих пор достаточно высокой и колеблется от 800 до 2000 рублей за тонну годного, что в большей мере объясняется высокой стоимостью формы литья под давлением (ФЛД), основная часть которой — детали, оформляющие отливку, — изготавливается из дорогостоящих инструментальных сталей, содержащих дефицитные легирующие элементы (вольфрам, молибден и т.д.).

При этом долговечность ФЛД относительно невысока, что обуславливает большую годовую потребность в них. Значительные объемы работ по аварийной ликвидации эксплуатационных дефектов форм и исправлению связанного с ними брака отливок. Все это приводит к тому, что доля фактических затрат на оснастку в себестоимости отливки составляет от 25 до 60%.

Поэтому проводимые в настоящей работе исследования, направленные на изыскание путей повышения долговечности форм литья под давлением и создание основ рациональной системы их эксплуатации, являются актуальными и способствуют решению важных народнохозяйственных задач:

- расширению области применения и объема производства методом литья под давлением заготовок сложной формы, близких по размерам к готовой детали и не требующих значительной последующей обработки;
- экономии материальных ресурсов за счет снижения дорогостоящих инструментальных сталей, содержащих вольфрам, молибден

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1359608

Куксин Ю.Ф. Исследование до

М В И У
им. Н. С. Баумана
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
СИСТЕМА

и другие дефицитные материалы;

- созданию условий для эффективного использования АСУТП и полной автоматизации процесса литья под давлением.

Цели и задачи исследования. Целью настоящей работы является разработка рациональной системы изготовления, эксплуатации и ремонта ФЛД, обеспечивающей минимальные удельные затраты на оснастку в себестоимости литья.

Для достижения поставленной цели необходимо последовательно решить следующие задачи: найти способ расчета долговечности формообразующих деталей формы;

регламентировать порядок обслуживания и ремонта форм;

разработать инструмент выбора оптимальных вариантов изготовления комплекта формы и схем его эксплуатации.

Объект исследования. Объектом исследований являются формы литья под давлением алюминиевых сплавов, выходящие из строя по причине раннего возникновения и интенсивного развития разгарных трещин на вкладышах, крупных вставках и стержнях.

Методология и методика исследования. Теоретической и методологической основой диссертации явились труды советских и зарубежных ученых в различных областях технических наук, организации и экономики производства. Научной базой выполненных в диссертации изысканий стали: в технических исследованиях - теория теплообмена в системе "отливка-форма", теория термоусталостного разрушения металла, теория движения металла в форме литья под давлением; в исследованиях организационного плана - основы научной организации труда и система планово-предупредительного ремонта технологического оборудования; в исследовании экономических вопросов - теория формирования стоимости и основные положения действующей Всесоюзной методики (1977 г.) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений.

Для решения конкретных задач разрабатывались частные методики, в которых использовались современные научные методы логического и математического моделирования и планировался широкий эксперимент в производственных условиях. В качестве инструмента анали-

за для выведения функциональных связей между рассматриваемыми параметрами использовались графоаналитический метод, парная корреляция и многофакторный корреляционный анализ. Информационной базой для этого послужила статистика, собранная на различных заводах страны и результаты проведенных экспериментов, а также данные других исследований.

Научная новизна. Основными научными результатами, полученными в данной работе являются:

- разработка метода определения долговечности ФЛД на основе установленной в процессе исследований закономерности образования разгарных трещин в зависимости от конструктивных особенностей деталей, характеристики температурного поля системы "отливка-форма" и от организационно-технологических условий эксплуатации форм;
- определение точек ремонтпригодности деталей на основе разработанного способа определения границ необратимых изменений физико-механических свойств материала;
- выявление связи между трудоемкостью изготовления и ремонта и их конструктивно-технологическими характеристиками.

В диссертации разграничены и определены понятия "термопрочность материала", "термостойкость формообразующей детали", долговечность формообразующей детали и "срок службы ФЛД".

Практическая ценность. Выведенные зависимости и научные положения использованы для создания классификатора формообразующих поверхностей ФЛД, разработки алгоритма расчета долговечности, метода определения ремонтпригодности формообразующих деталей, а также классификатора и методики расчета трудоемкости их изготовления и ремонта. Эти разработки легли в основу системы планово-предупредительного ремонта ФЛД и технико-экономических моделей для выбора вариантов изготовления, эксплуатации и ремонта форм.

Реализация работы в промышленности. Практическое применение результатов работы нашли в виде руководящих технических материалов по планово-предупредительному ремонту ФЛД и рекомендаций по их изготовлению и эксплуатации, которые внедрены на двух предприятиях. На базе проведенных исследований предполагается в 1981-1983 г.г. разработать и утвердить ГОСТ "Система планово-предупредительного ре-

лита форм литья под давлением (Для литья сплавов на основе алюминия)".

А п р о б а ц и я и п у б л и к а ц и я р е з у л ь т а т о в р а б о т ы . Материалы диссертации доложены на 4 научно-технических семинарах. По материалам диссертации опубликовано 4 работы.

О б ъ е м р а б о т ы . Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения: содержит 130 страниц машинописного текста, 29 рисунков, 52 таблицы, перечень принятых в работе условных обозначений. В списке использованной литературы 73 наименования.

С О Д Е Р Ж А Н И Е Р А Б О Т ы

В первой главе "Технико-экономическая и научная сущность проблемы и постановка задачи исследований" обосновывается выбор темы и направление исследований.

Анализ производственных условий эксплуатации форм литья под давлением показал, что основное внимание на этом этапе уделяется вопросам качества отливок и производительности процесса, в значительно меньшей мере, предупреждению раннего разрушения формы. При изготовлении не рассчитывается необходимое количество формообразующих деталей в комплекте формы, а запас, либо определяется приблизительно, либо изготавливается в аварийном порядке, при выходе из строя отдельных деталей.

Такое положение во многом объясняет относительно высокую себестоимость литья под давлением алюминиевых сплавов и в определенной степени ограничивает широкое внедрение этого прогрессивного процесса получения точных заготовок. Поэтому разработка метода определения ресурса службы формообразующих деталей и исследование путей повышения их долговечности за счет организационно-технических мероприятий по эксплуатации и ремонту форм литья под давлением является важной практической задачей.

В результате статистического анализа видов разрушения форм и причин их выбраковки, проведенного нами на различных заводах страны, установлено, что от 36 до 90% стоимости всей оснастки, изготавливаемой для литья под давлением алюминиевых сплавов, составляют вкладыши, крупные вставки и стержни, выходящие из строя по причине возникновения и интенсивного развития разгарных трещин. Это дает основание считать прогнозирование и предупреждение раннего появления и развития разгарных трещин

главным направлением в исследовании вопросов долговечности форм.

Наблюдения показывают, что для различных форм периоды появления и развития разгарных трещин не совпадают. Однако, для одних и тех же форм и участков поверхности четко прослеживается тенденция повторяемости. Это свидетельствует о функциональном характере процесса трещинообразования и зависимости от его конфигурации формы и условий эксплуатации. Закономерность образования трещин подтверждается и теорией термоусталостного разрушения материала, которая связывает границы необратимого изменения в материале и его разрушение с критическим накоплением остаточных напряжений и деформаций. Таким образом, имеются предпосылки для научного решения поставленных задач по определению долговечности формы и сроков их ремонта на основе факторного анализа.

Литературные источники свидетельствуют, что выбранное направление исследований актуально, так как работы по повышению долговечности формы в основном ведутся в области их изготовления. Характер же воздействия параметров технологического процесса на долговечность формы хотя достаточно известен, но степень влияния каждого из них на срок службы ФЛД не установлена. Совершенно не исследовано влияние на долговечность формы вариантов ее освоения. В области ухода за формами и восстановительного ремонта их эксплуатации имеются только отдельные рекомендации, либо разработаны методики и режимы применительно к определенной группе форм.

Важным аргументом в пользу поставленных исследований является и то, что возможные успехи исследования в области долговечности ФЛД проводимых по другим направлениям, не снижают актуальности данной работы.

Во второй главе "Термостойкость форм литья под давлением" на основе теории термоусталостного разрушения металлов и изучения температурного поля системы "отливка-форма" выбирается метод расчета термпрочности материала и устанавливаются параметры, определяющие потенциал термостойкости конкретных формообразующих деталей.

Потенциал термостойкости определяется как количество циклов теплосмен до появления стабильных (вновь проявляющихся после зачистки) разгарных трещин. В качестве инструмента его

расчета выбрано следующее выражение: ^{1/}

$$N_n = K_T \left(R_T / \varepsilon_0 \sigma_{TH} \right)^2 \quad (1)$$

где R_T — запас прочности и пластичности материала, рассчитываемый через параметры, определяющие механические свойства материала при заданной температуре; N_n — термочувствительность материала. Коэффициент K_T учитывает конструктивные особенности реальных форм, шероховатость поверхности и влияние различных способов защиты материала формообразующих деталей от непосредственного контакта с металлом отливки.

Выбор формулы (1) объясняется тем обстоятельством, что в ней термостойкость деталей выражается через теплофизические и механические свойства материала.

Экспериментальная проверка на реальных формах и специальных образцах подтвердила выводы исследователей о стабильности корректирующего влияния шероховатости поверхности и определенного защитного покрытия или химико-технической обработки на термостойкость материала формы, что позволяет выразить это влияние через постоянные коэффициенты термостойкости K_T и K_X .

Анализ литературных источников позволил все разработанные классификаторы форм и их элементов, связывающие термостойкость с конструктивными особенностями форм, категоризовать по двум группам. И те и другие классификаторы имеют недостатки.

Первая группа, обобщающая формы по категории сложности отливок, недостаточно точно учитывает особенности тех формообразующих деталей, где непосредственно возникают разгарные трещины, что приводит к значительным отклонениям при расчете термостойкости форм и не дает возможности прогнозировать выход из строя конкретных деталей.

Вторая группа, классифицирующая только отдельные параметры и определяющая изолированно их степень влияния на долговечность деталей, не дает полного представления об их термостойкости. Это означает, что на практике пользоваться и этими разработками крайне затруднительно.

1/ Горюнов И.И. Пресс-формы литья под давлением. — Л. Машиностроение, 1973, с. 120.

Исходя из того, что дефекты (в данном случае сетка разгара и трещины) в процессе эксплуатации формы поражают ее конкретные оформляющие отливку детали, мы пришли к выводу, что классифицировать следует не формы в целом, а отдельные зоны формообразующих деталей, которые создают с отливкой в процессе ее затвердевания индивидуальные температурные поля.

В разработанном классификаторе (рис. I) первым признаком классификации в соответствии с теорией теплопередачи и существующими положениями о нестационарном температурном поле системы "отливка-форма" выбрана глубина рабочей зоны формообразующей детали, которая вместе с перепадом температуры определяет величину и действие во времени максимальных температурных напряжений $\sigma_{\text{ти}}$, направленных по нормали к поверхности.

Второй признак классификации — площадь формообразующей детали $S_{\text{пов}}$, которая влияет на величину дополнительных температурных напряжений $\Delta \sigma_{\text{ти}}$, появляющихся вследствие неравномерного нагрева поверхности.

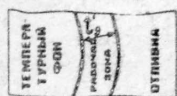
Третий признак — характеристика кривизны поверхности или отношение площади поверхности $S_{\text{пов}}$ к площади ее проекции. Этот параметр учитывает изменение направлений тепловых потоков и корректирует суммарную величину разнонаправленных напряжений. Влияние в зонах местных концентраторов напряжений учитывается постоянными коэффициентами.

Установить отдельно степень влияния каждого из параметров основного классификатора на термостойкость формообразующих деталей невозможно, так как они взаимосвязаны. К тому же они влияют и на величину активных сил разрушения (параметры технологического процесса получения отливки) в рассматриваемых зонах, предопределяющих динамику расходования потенциала термостойкости. Поэтому решение этой задачи переносится в следующую главу.

В третьей главе "Исследование влияния производственных условий эксплуатации на долговечность форм" разрабатывается метод расчета долговечности формообразующих деталей.

В качестве объекта исследований были выбраны более 50 форм, литых под давлением, эксплуатируемых на различных заводах страны, у которых причиной разрушения и выхода из строя вкладышей и крупных стержней являлись разгарные трещины.

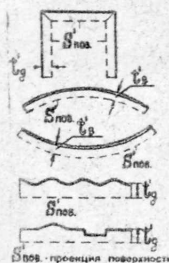
Динамика расходования потенциала термостойкости, приобре-



$$t_g = \sqrt{2\alpha T}$$

— РАБОЧАЯ ЗОНА

а)



б)

УРОВЕНЬ КЛАССИФИКАЦИИ	ПОКАЗАТЕЛЬ КЛАССИФИКАЦИИ	ПАРАМЕТРЫ	ЧТО ХАРАКТЕРИЗУЕТ	СИМВОЛ ХАРАКТЕРИСТИКИ
КЛАСС	$K_{кл}$	t_g	ДЕЙСТВИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ВО ВРЕМЯ	$[C]_t$
ГРУППА	$K_{гр}$	$S_{ма}$	ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ВОДЯНОЙ ПОВЕРХНОСТИ	$[C]_{тн}$
ПОДГРУППА	$K_{пг}$	$\frac{S_{ма}}{S_{поп}}$	ВЗАИМНОДЕЙСТВИЕ РАЗНОНАПРАВЛЕННЫХ ДЛИРИНОВ	$[C]_{тн}$

в)

характеристика концентратора	концентраторы отсутствуют	небольшие выступы и впадины	пересечение двух плоскостей			пересечение трех плоскостей		цилиндрические углубления	пазы	отверстия под головки	групповые концентраторы сосредоточенные и протяженные
			$\alpha > 90^\circ$	$\alpha \approx 90^\circ$	$\alpha < 90^\circ$	$\alpha > 90^\circ$	$\alpha < 90^\circ$				
видные группы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
иллюстрация		 $R > 10$	 $R \approx 5$	 $R > 5$	 $R < 4$	 $R > 5$	 $R < 4$	 $t = 2,5-3 \text{ мм}$ $R = 5 \text{ мм}$	 $t < 5 \text{ мм}$		
K_K	1	0,9-0,95	0,9	0,85	0,8	0,7	0,55	0,65-0,75	0,6	0,7	0,35-0,45

г)

Рис. I Классификатор зон формообразующих деталей:
 а) рабочая зона в системе "отливка-деталь";
 б) типовые виды формообразующих поверхностей;
 в) классификация формообразующих поверхностей;
 г) классификация местных концентраторов напряжений.

теемого каждой формообразующей деталью в процессе изготовления, характеризуется двумя группами эксплуатационных факторов.

Первую группу составляют независимые условнопостоянные факторы, к которым относятся: предварительный разогрев, межцикловая смазка и способ освоения формы.

Подогрев формы перед началом работы преследует цель избежать больших перепадов температуры в начальный период эксплуатации.

Наиболее целесообразный вариант подогрева форм — искусственный нагрев со скоростью $20-30^{\circ}$ в минуту до температуры формы T_f . Разогрев путем заливки нескольких порций цинковых сплавов, используемый в практике некоторых литейных цехов, несколько снижает долговечность форм. По сравнению с рекомендованным вариантом подогрева, где коэффициент, характеризующий степень влияния вида подогрева на долговечность формы $K_{под} = 1$, при подогреве цинковыми сплавами его значение снижается до $0,65-0,70$. Естественный разогрев кашеобразным сплавом еще более снижает термостойкость форм — $K_{под} = 0,30-0,40$ — и не должен использоваться в практике эксплуатации форм.

Межцикловая смазка является буферным фактором, смягчающим воздействие металла отливки на рабочую поверхность формы. На основании собранных статистических данных и группировки смазок по принципу их качественного состава разработана таблица для определения степени влияния смазки различного состава на долговечность форм или коэффициента долговечности смазки $K_{см}$ (табл. I).

Для введения коэффициента освоения K_0 , характеризующего степень влияния периода опробования на долговечность формообразующих деталей, были проведены наблюдения за различными вариантами освоения и доводки размеров одних и тех же форм. В результате анализа результатов установлены следующие коэффициенты:

при опробовании форм без последующей доводки — $K_0 = 1$

при опробовании форм с последующей доводкой — $K_0 = 0,72 \pm 0,76$

при опробовании форм после нормализации с последующей доводкой и окончательной термообработкой — $K_0 = 0,85 \pm 0,90$

при опробовании незакаленных сырых форм — $K_0 = 0,32 \pm 0,54$

На основании проведенных экспериментов в работе предложен метод предварительного обмера по легкоплавким моделям, изго-

КОЭФФИЦИЕНТЫ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СМАЗКИ

$$K_{см} = \frac{(N_p)_{см}}{(N_p)_{I-1}} \quad (\text{СТАТИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ})$$

КОМПОНЕНТЫ СМАЗКИ	СВЯЗКИ				
	Р, С, В, О	М, Ж	Н, О	Е	
Г	I	I	1,37 - 1,78	0,61 - 0,72	
AL	0,92 - 0,95	(1,08 - 1,16)	—	—	
ALF	—	—	—	0,44 - 0,54	

КОМПОНЕНТЫ СМАЗКИ		
НАПОЛНИТЕЛИ	СВЯЗКИ	РАСТВОРИТЕЛИ
ГРАФИТ - Г	ПАРИФИН - П	ПЕРОСИ:
АЛКИРИНОВАЯ ПУДРА - AL	СТЕАРИН - С	УАГЛ - СПИРИ:
ФОРМИСИН	ВОСКИ - В	УАГЛ - СПИРИ:
НАТРИЙ - NaF	ОЗОНЕРИ - О	УАГЛ - СПИРИ:
СИНИНТЫ	МАСЛА - М	УАГЛ - СПИРИ:
НИТРИДЫ	НИРИ - Ж	УАГЛ - СПИРИ:
И 1 Д	ВОДА - H ₂ O	УАГЛ - СПИРИ:
	ФОРМИСИН УГ	УАГЛ - СПИРИ:
	ЛЕВОДОРОДЫ	УАГЛ - СПИРИ:
	СИЛАНСОВЫЕ	УАГЛ - СПИРИ:
	НИДЛОСТИ	УАГЛ - СПИРИ:
	И 1 Д	УАГЛ - СПИРИ:

Таблица I

а)



I межремонтный период: ФЛД - ПФ₁ - ПФ₂ - ПФ₃ - ... - ПФ_n - ВР I

II межремонтный период: ВР I - ПФ₁ - ПФ₂ - ПФ₃ - ... - ПФ_n - ВР II

б) III межремонтный период: ВР II - ПФ₁ - ПФ₂ - ... - ПФ_n -

IV период разрушения: - аварийная ПФ -

ПЛАНИРУЕМОЕ СОБЫТИЕ	КОЛИЧЕСТВО ЗАЛИВКИ N	КОЛИЧЕСТВО РАБОЧИХ СМЕН L	КАЛЕНДАРНЫЙ СРОК Д
ПФ	800 + 1200	2 ÷ 4	$D_{нр} + L_{но} \cdot \frac{N_{но}}{L} + B_{но}$
ВР I	$2 \cdot N$	$\frac{N}{N_{см}}$	$D_{нр} + \frac{N_{ср I}}{L} + B_{ср I}$
ВР II	$1,65 \cdot 2 \cdot N$	$\frac{N}{N_{см}}$	$D_{нр} + \frac{N_{ср II}}{L} + B_{ср II}$
	$(1,65 \cdot 2 + 0,42) N$	$\frac{N}{N_{см}}$	$D_{нр} + \frac{N_{ср}}{L} + B_{ср}$

ЗАВИСИТ ОТ "L" НА ОТАНКИ

N_{см} - выпуск отанков за смену;

L - сменность;

B - количество вышедших отанков.

Рис. 2 Модель ППР форм I/. а) схема эксплуатации ФЛД; б) структура цикла; в) график ремонтных работ.

I/ Состав ППР. ПРОФИЛАКТИКА ФОРМ. Разборка-очистка-осмотр-защитка дефектов-замена деталей-смазка-сборка-контроль (при заливке) отдельных размеров. ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ РЕМОНТ. Разборка-очистка-подшлифовка-докомплектовка-восстановительный отпуск-нанесение защитных покрытий-сборка-контрольная заливка-обмер.

товленным в "сырых" формах, который способствует не только сохранению потенциала термостойкости на стадии освоения, но и снижает затраты на доводку размеров форм.

Ко второй группе эксплуатационных факторов относятся параметры технологического процесса получения отливки, характеризующие непосредственное воздействие заливаемого металла на формообразующие детали ФМД. Это температура заливки, время затвердевания отливки, статическое давление в камере прессования и скорость заливки.

Прямое влияние температуры заливаемого металла на долговечность ФМД учтено в формуле (1), используемой в работе для расчета потенциала термостойкости. Время затвердевания отливки учитывается в показателе классификатора t'_g (рис. 1). Влияние статического давления на долговечность для рассматриваемой группы форм ($t_n < 0,5t_0$) можно не учитывать, так как литник перестывает практически мгновенно, сразу после заполнения формы.

Динамическое воздействие на форму заливаемого металла характеризуется как давлением потока на преграду, так и разрушительным действием отдельных струй, интенсивность которого зависит от характера потока. В первом случае определяющими параметрами являются скорость впуска $U_{\text{вп}}$, характеристика проходного потоком металла пути от литника до рассматриваемого участка поверхности ($L_{\text{пг}}$) и направление движения потока по отношению к рассматриваемому участку.

По данным А.К.Белопухова ^{1/} расчет $L_{\text{пг}}$ производится по формуле:

$$L_{\text{пг}} = \frac{L}{t_0} \sqrt{n+1}, \quad (2)$$

где L — суммарная длина линейного перемещения металла, а n — число поворотов потока.

Направление движения потока характеризуется тригонометрической функцией

$$f(\vec{V}_{\text{ном}}) = \sin \varphi - \sin(\varphi - \varphi'), \quad (3)$$

где φ — угол встречи потока с участком поверхности;
 φ' — угол между начальным и последующим направлением движения потока.

^{1/} Белопухов А.К. Формирование отливки при литье под давлением на машинах с холодной камерой прессования. — Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. — М.: 1974. с.87.

Характер потока определяется скоростью выпуска $\dot{V}_{\text{вн}}$, отношением толщины литника и отливки $t_{\text{л}}/t_0$ и температурой перегрева металла $T_{\text{пер}}$.

Влияние эксплуатационных параметров на долговечность формообразующих деталей в работе рассматривается в комплексе с параметрами классификатора. Инструментом для решения задачи служит многофакторный корреляционный анализ. В уравнении регрессии приняты степенные формы связи. Функцией в исходном банке данных послужил коэффициент $K_{\text{вак}}$, исчисляемый как частное от деления фактической долговечности реальных форм N_p на расчетный потенциал термостойкости N_n и на коэффициент K_{const} , представляющий собой произведение значений условно-постоянных коэффициентов. В качестве аргументов (с учетом возможного равенства 0 некоторых из их значений) приняты: t'_0 - средняя толщина отливки в зоне детали ($t'_g \rightarrow f(t'_0)$); $S_{\text{нов}}$; $S_{\text{нов}}/S'_{\text{нов}}$; $\dot{V}_{\text{вн}}$; $X = 1 + \alpha_{\varphi_2}$; $1/\bar{V} = 1 + \sin \varphi - \sin(\varphi - \varphi')$; $t_{\text{л}}/t_0$; $T = 1 + T_{\text{пер}}$. Обработка банка исходных данных производилась на машине ЕС 1033. На основании результатов выведена формула расчета долговечности формообразующих деталей

$$N_p = N_n K_{\text{const}} \cdot e^{-2,27 \cdot 10^{-4} \cdot S_{\text{нов}} / S'_{\text{нов}}} \cdot \dot{V}_{\text{вн}}^{0,153} \cdot X^{0,261} \cdot (1/\bar{V})^{-0,521} \cdot (t_{\text{л}}/t_0)^{-0,118} \cdot T^{0,041} \quad (4)$$

Формула (4) послужила базой для разработки методики и алгоритма расчета долговечности формы литья под давлением алюминиевых сплавов.

В четвертой главе решается одна из главных задач диссертации - разработка основ системы планово-предупредительного ремонта ФМД. В основу решения задачи положен долговременный эксперимент, проведенный в условиях трех заводов.

В первой части главы на основе анализа экспериментальных данных установлена оптимальная периодичность профилактики - через 800-1200 заливок и зависимость ее эффективности от площади формообразующей поверхности $S_{\text{нов}}$. Коэффициент повышения долговечности при регулярных профилактиках будет выражаться формулой

$$K_{\text{пр}} = \frac{S_{\text{нов}} - 4}{2230} + 1,1. \quad 450 > S > 4 \quad (5)$$

Во второй части главы вначале определяется способ установления "порога ремонтпригодности" или количества заливок до

точки необратимых изменений в металле формы N_z . Коэффициент ремонта ригидности ζ_p или отношение N_z/N_p , как показали исследования, зависит также от площади формообразующей поверхности деталей:

$$\zeta_p = \frac{450 S_{\text{нов}}}{2230} + 0,6. \quad 450 > S > 4 \quad (6)$$

При проведении ремонта до точки $N_z = \zeta_p N_p$ потенциал стойкости формообразующих деталей восстанавливается до $0,65 N_p$ и общая долговечность N_p' будет равна

$$N_p' = N_p (\zeta_p + 0,65). \quad (7)$$

Повторные эксперименты по эффективности второго и третьего восстановительных ремонтов и анализ их результатов позволил установить, что все закономерности присущие первому ремонту сохраняются, и вывести на основании этого формулу определения плановых сроков очередного ремонта:

$$N_z^{[n]} = \zeta_p N_p \sum_{i=1}^n 0,65^{i-1}, \quad (8)$$

где n — порядковый номер ремонта; $[n]$ — индексо, обозначающий номер ремонта.

Общая долговечность формы будет

$$N_p^{[n]} = N_p [\zeta_p \sum_{i=1}^n 0,65^{i-1} + 0,65]. \quad (9)$$

Однако расчет в экономической эффективности и допуски на размеры показывают, что для большинства форм наиболее целесообразен вариант эксплуатации с двумя восстановительными ремонтами.

Полностью модель ППР приведена на рис. 2.

Пятая заключительная глава посвящена разработке технико-экономических моделей, служащих для выбора рациональных вариантов изготовления, эксплуатации и ремонта ФЛД. На основе экспериментов и статистического анализа определены нормативно-методические принципы их построения. Во-первых, разработан способ определения количества необходимых запасных деталей в комплекте формы с учетом аварийного запаса и рекомендации по их изготовлению, порядку замены во время эксплуатации и ремонта. Во-вторых, на базе конструктивно-технологического классификатора формообразующих деталей с использованием метода множественной корреляции выведены формулы определения затрат на изготовление проилластрику и восстановительный ремонт формообразующих

деталей и формы, связывающие эти затраты с конструктивными особенностями деталей и техпроцессом их изготовления. Выведенные зависимости позволили разработать технико-экономические модели (рис. 3) выбора варианта изготовления, эксплуатации и ремонта форм литья под давлением алюминиевых сплавов.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

I. В процессе исследований решено ряд научных задач:

1. Установлено влияние конструктивных параметров системы "отливка-форма" на долговечность формообразующих деталей, на основе чего разработан классификатор зон формообразующей поверхности.

2. Установлена закономерность расхождения потенциала термостойкости формообразующих деталей в зависимости от конструктивно-технологических и организационно-технических факторов, на основе чего разработана методика и алгоритм расчета их долговечности.

3. Установлена связь между площадью формообразующей поверхности и началом необратимых изменений физико-механических свойств материала деталей ФД, на основе чего разработан метод определения "порога ремонтпригодности" формообразующих деталей.

4. Установлена зависимость трудоемкости изготовления и ремонта форм от конструктивно-технологических параметров формообразующих деталей, на основе чего разработан классификатор (по трудоемкости) формообразующих деталей и способ расчета затрат на форму.

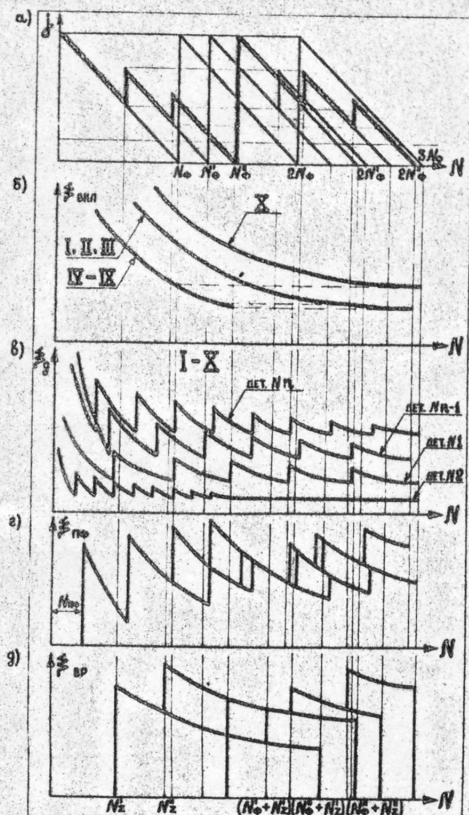
5. Определены математические основы построения технико-экономических моделей эксплуатации форм литья под давлением.

В целом диссертация может служить методологией исследований долговечности форм литья под давлением для различных сплавов.

II. Результатом проведенных научных исследований является система ПНР для форм литья под давлением алюминиевых сплавов

ВАРИАНТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Н-ВО ФОРМ	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3
Н-ВО ВР.	-	1	2	-	1/1	2/1	2/1	2/1	2/2	-

$$\xi_o = \xi + \sum_i \xi_g + \xi_{no} + \xi_{br} \rightarrow \min$$



$$j = \frac{N_o - N_i}{N_o}$$

$$\xi_{vk} = \frac{K \cdot j_{vk} \cdot 1.06}{N_i}$$

$$\xi_g = \frac{1.06 \cdot j_g \cdot \frac{N}{N_i}}{N_i}$$

$$\xi_{no} = \frac{\sum_{i=1}^{N/N_{no}} j_{no} \cdot 1.07}{N}$$

$$\xi_{br} = \frac{n j_{brI} + m j_{brII}}{N}$$

Рис.3 Принципиальная схема построения технико-экономических моделей изготовления, эксплуатации и ремонта ФЛД.

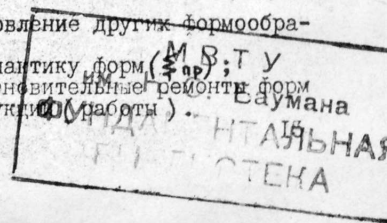
а) изменение относительного ресурса работы форм (j) в процессе их эксплуатации (N_o - ресурс работы формы до выхода из строя; N_i - количество заливок к искомому моменту;

б) изменение удельных затрат на изготовление вкладышей (ξ_{vk}) в себестоимости отливки;

в) изменение удельных затрат на изготовление других формообразующих деталей (ξ_g);

г) изменение удельных затрат на профилактику форм (ξ_{no});

д) изменение удельных затрат на восстановительные ремонты форм (ξ_{br}); j - затраты на единицу продукции (работы).



и технико-экономические модели эксплуатации ФЛД.

III. Практическое значение этих разработок заключается в следующем:

1. В экономическом отношении – при незначительном увеличении затрат на ППР форм существенно (в 1,3-1,5 раза) увеличивает-ся ресурс их эксплуатации и снижается себестоимость изготовле-ния отливок.

2. В организационном плане – созданы основы для научного прогнозирования сроков службы ФЛД и планирования работ по их из-готовлению, эксплуатации и ремонту, что позволяет эффективнее использовать системы технологической подготовки производства и автоматизированные системы управления производством.

3. Социальное значение – экономия дефицитных стратегичес-ких материалов и предпосылки полной автоматизации процесса из-готовления отливок из алюминиевых сплавов методом литья под давлением.

Основное содержание диссертаци-ии опубликовано в следующих ра-ботах:

1. Куксин Ю.Ф. Технико-экономические аспекты стойкости пресс-форм литья под давлением. Сб. Вопросы эффективности науч-ных исследований и разработок в машиностроении. Труды МВТУ 1977 г., № 251, с.3-15.
2. Куксин Ю.Ф., Колобов А.А., Помазкова Л.А. Экономическая эффективность научных исследований и разработок в области литья под давлением. Сб. Вопросы эффективности научных исследований и разработок в машиностроении. Труды МВТУ 1976г. № 209, с.54-83.
3. Куксин Ю.Ф. Повышение долговечности форм литья под давлени-ем. Литейное производство, 1979 г., № 6, с.29-30.
4. Куксин Ю.Ф. Система плано-предупредительного ремонта форм литья под давлением. Литейное производство, 1980 г., № 4 (в печати).