На правах рукописи

Желателева Римма Валерьевна

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ И РАСЧЕТНЫЙ АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ РАЗМЕРНОЙ ТОЧНОСТИ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК

Специальность: 05.16.04 – Литейное производство

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2007

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор,
заслуженный работник ВШ РФ Косников Геннадий Александрович

Официальные оппоненты:
доктор технических наук,
профессор Десницкий Владимир Владимирович

кандидат технических наук,
доцент Дружевский Михаил Александрович

Ведущая организация: ОАО «ПТИЛитпром»

Защита состоится “___” _____ 2007 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.14 в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, химический корпус, ауд. 51.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ГОУ ВПО Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

Автореферат разослан “___” _____ 2007 г.

Ученый секретарь
доктор технических наук, профессор Кондратьев С. Ю.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. За последнее время в области автоматизации проектирования технологических процессов литейного производства достигнуты определенные успехи. Получили развитие пакеты прикладных программ, основанные на математическом моделировании литейных процессов, применении типовых проектных решений и нормативных материалов, расчетах рациональных средств управления формированием качественных отливок. Применение этих систем обеспечивает технико-экономический эффект как в сфере подготовки производства, так и непосредственно в производстве отливок. Однако деформационные процессы, которые играют весьма важную роль в процессе формирования отливки, практически не нашли отражения в этих программах.

В процессе формирования отливки имеет место сложное силовое взаимодействие отливки и формы, а также различных частей отливки. При этом свойства материала отливки и формы изменяются под воздействием температуры, зависят от степени деформаций, однако не соответствуют свойствам простых упругих тел.

В условиях производства среди многих технологических факторов, влияющих на размерную точность отливок, особое значение имеет правильный учет величины литейной усадки.

Задача правильного прогнозирования литейной усадки весьма важна и требует глубоких исследований как в области свойств материалов, так и в области разработки специфических моделей деформационных процессов.

Определяющими для точности прогнозирования являются условия адекватного определения количественных характеристик деформационных свойств металла, а также динамики их изменения в процессе формирования и охлаждения отливки.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – Целью настоящей работы является исследование условий формирования стальных отливок и разработка универсального метода определения величины дифференцированной литейной усадки, обеспечивающего повышение качества фасонных стальных отливок и снижение затрат на их производство.

С учетом поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

1. проведение экспериментов для получения достоверных значений размеров исследуемых отливок; расчет значения усадки для каждого размера и анализ результатов по определению размерной точности отливок;
2. разработка системы классификационных признаков отливок, построение алгоритма и программы прогнозирования дифференцированной действительной усадки для локальных участков в отливках энергомашиностроения с целью использования ее на стадии проектирования литейной технологии;
3. создание системы баз данных конструкций отливок и характерных технологических узлов, используемой в САПР ТП для информационного обеспечения программы прогнозирования дифференцированной действительной усадки;
4. выявление закономерностей изменения эффективных значений реологических характеристик стали в зависимости от температуры;
5. разработка обобщенной реологической модели напряженно-деформированного состояния формы из жидкостекольной формовочной смеси и стальной отливки при ее охлаждении и проверка адекватности полученной модели.

ПУБЛИКАЦИИ. По материалам диссертации опубликовано 5 работ.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Материалы работы изложены на 159 страницах машинописного текста, иллюстрированы 56 рисунками, содержат 20 таблиц и приложение на 20 страницах. Список литературы содержит 108 наименования.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ. Работа содержит новые научно-обоснованные результаты расчетных и экспериментальных исследований закономерностей деформационных процессов при охлаждении

стальных отливок, совокупность которых имеет существенное значение для определения действительной усадки отливок:

- разработана система классификационных признаков конфигурации отливок, типов размерных баз и особенностей расположения размеров, что позволило выявить и обосновать существование множества схем силового взаимодействия между отливкой и формой с различной степенью их локализации;
- на основании системы классификационных признаков построена алгоритмическая модель, учитывающая проявление силовых схем, которые влияют на величину и развитие усадки при локальном силовом взаимодействии между отливкой и формой;
- разработан оригинальный алгоритм прогнозирования величины дифференцированной действительной усадки отдельно для каждого из размеров отливки, с одновременным учетом припуска и допуска;
- выявлены закономерности изменения эффективных значений реологических характеристик для стали 30Л и жидкостекольной песчаной формы в зависимости от температуры, использованные для разработки обобщенной модели напряженно-деформированного состояния формы и отливки при ее охлаждении.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ.

Разработаны рекомендации по снижению припусков на механическую обработку, уменьшению расхода жидкого металла и сокращению металла, уходящего в стружку при последующей механической обработке, обеспечивающие повышение качества стальных отливок и снижение затрат на их производство.

Сформирована компьютерная база данных по технологии изготовления стальных отливок, которая используется для информационного обеспечения процесса моделирования деформационных процессов.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ:

1. система классификации геометрических характеристик отливок, являющаяся основой алгоритма определения действительной усадки в различных направлениях для стальных отливок;
2. результаты численного расчета и экспериментального определения реологических характеристик для стали 30Л;
3. обобщенная реологическая модель прогнозирования действительной усадки отливки.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обоснован выбор темы диссертации, представлена оценка современного состояния решаемой проблемы, показана ее значимость.

В первой главе представлен аналитический обзор и обобщение имеющихся в литературе данных по повышению точности литья в машиностроении. Подробно описаны имеющиеся в настоящее время методы расчетного и экспериментального определения затрудненной линейной усадки стали.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что существует целый ряд технологических факторов, значительно изменяющих процесс развития и величину линейной усадки. При исследовании влияния скорости охлаждения, масштабного фактора и толщины стенок отливки на величину линейной усадки имеются противоречивые результаты, которые требуют экспериментальной проверки.

Процессы взаимодействия литейной формы и отливки, которые определяют качество поверхности литой заготовки, оказывают влияние на точность ее размеров и могут приводить к возникновению ряда специфических дефектов. Возникновение напряжений в отливке и форме является следствием их силового взаимодействия. В результате торможения формой линейной усадки затвердевающей отливки возникают напряжения, которые могут либо разрушить отливку, либо настолько деформировать форму, что разрушение отливки не произойдет. Показано, что при использовании данного подхода необходимо учитывать большое количество факторов, определяющих действительную усадку.

Анализ технологического уровня современного литейного производства, а также литературных источников показал, что сегодня практически отсутствует способ расчета параметров техпроцесса получения отливки, исходя из требований, предъявляемых к готовой форме. Это влечет за собой недостатки при проектировании и приводит к материальным, энергетическим и трудовым потерям при производстве отливок.

В результате литературного анализа были сформулированы цель и задачи исследования.

Вторая глава посвящена исследованию процессов усадки и формирования точности производственных отливок с целью последующего учета результатов исследования при разработке системы прогнозирования усадки отливки. Получение достоверных значений усадок отливок важно, так как непосредственно они отражаются на точности результатов прогнозирования действительной усадки отливки.

Целью данного этапа работы явилось: получение достоверных значений размеров исследуемых отливок; расчет значения усадки для каждого размера этих отливок; статистический анализ экспериментальных значений усадок, относящихся к одному виду размера, и группировка размеров по классификационным признакам.

Эксперименты проводились в производственных условиях в сталелитейном цехе ОАО «Невский завод» (Санкт-Петербург) и были посвящены повышению точности отливок, снижению расхода жидкого металла, а также сокращению количества металла, уходящего в стружку при последующей механической обработке. Для исследований использовали 10 наименований отливок из стали 30Л, отличающихся различными технологическими выступами и конфигурацией в целом, часть которых представлена на рис. 1. Было отлито по 13 отливок каждого наименования. Рассматриваемые отливки занимают около 30% от общего числа изготавливаемых в цехе, а отливки из стали 30Л - более 50%.

Для определения усадки отливок производили замеры деревянных моделей, и результаты сопоставляли с соответствующими размерами каждой из 13 отливок. Результаты проведенных измерений для каждой отливки заносили в

таблицу, пример которой показан на рис.2. Каждому размеру отливки одного наименования присвоили буквенное обозначение. Данные обработки каждого размера записывали в столбцы таблицы.

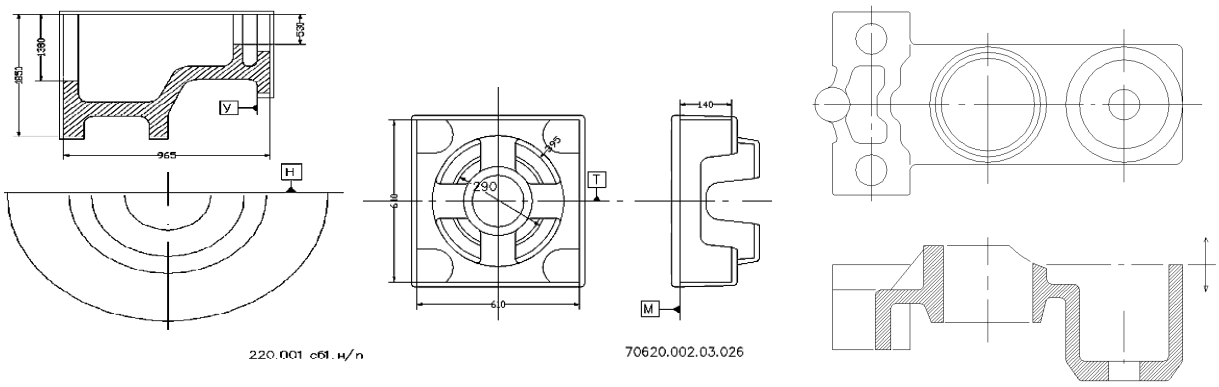

Рис. 1 Примеры исследуемых отливок (фрагмент)

Объект	Обозначение размеров, мм.						
	A	B1	B	C	D	E	F
ЧЕРТЕЖ 70620.002.03.026	610.0	610.0	610.0	290.0	395.0	140.0	350.0
Припуск расчетный	3.9	4.8	4.8	2.0	2.3	3.2	0.0
Разм.от пов-ти до базы	305.0	305.0	305.0	145.0	197.0	140.0	0.0
Макс.длина элемента	610.0	610.0	610.0	130.0	212.0	140.0	0.0
Толщина элемента	130.0	130.0	130.0	90.0	90.0	217.5	0.0
Общий допуск (расчет.)	4.4	4.4	4.4	1.6	2.0	3.2	0.0
Низ (бок)"1" или верх "2"	1.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	0.0
Припуск по чертежу	10.0	15.0	15.0	0.0	10.0	22.0	0.0
МОДЕЛЬ	640.0	648.0	648.0	295.0	418.0	166.0	355.0
ФОРМА	640.0	648.0	648.0	295.0	418.0	166.0	355.0
ОТЛИВКА: Отливка 1	622.0		0.0	287.0	411.0	0.0	0.0
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Отливка 13	626.0	637.0	635.0	291.0	410.0	166.0	350.0
Число надежных измерений	13.0	6.0	7.0	13.0	13.0	7.0	0.0
Среднее значение	312.35	318.58	317.86	144.5	206.12	166.0	0.0
Достовер. результ. измер.	1.34	0.76	2.15	1.56	1.43	0.0	-
Достовер.среднего арифм.	0.37	0.31	0.81	0.43	0.4	0.0	-
Велич.усадки по чертежу,%	1.59	1.25	1.25	1.72	0.72	2.47	-
Велич. действит. усадки,%	2.45	1.7	1.93	2.08	1.4	0.0	-
Разброс действ.усад.,+/-%	0.12	0.1	0.25	0.29	0.19	0.0	-

Рис. 2 Пример заполнения таблиц

Анализ результатов измерения показал различие по величине усадки (от 0% до 2,5 %) в различных направлениях отливки в зависимости от общей кон-

фигурации отливки и других факторов, определяющих особенности силового взаимодействия между отливкой и формой, а также между отдельными частями одной отливки.

Полученные экспериментальные данные были обработаны методами математической статистики, при этом были определены и исключены из опытных данных грубые погрешности, найдено среднее значение усадки по каждому размеру для отливки одного наименования, определено отклонение результатов измерений от среднего арифметического. Это позволило оценить характер сходимости результатов отдельных измерений, вычислить отклонение статистических характеристик от истинного значения и определить достоверность результатов измерений.

Анализ результатов произведенных экспериментов по определению размерной точности отливок подтвердил теоретические и экспериментальные данные А.П.Трухова о влиянии ряда факторов на действительную усадку отливки и позволил сделать вывод о том, что на ее величину, как по габаритным размерам, так и на усадку отдельных частей отливки оказывают существенное влияние конфигурация отливки, абсолютная величина и расположение размеров.

Третья глава посвящена разработке системы прогнозирования действительной усадки отливок.

С целью облегчения работы технолога при разработке технологии изготовления отливки объединили задачу прогнозирования действительной усадки с задачей определения припусков на механическую обработку и допусков размеров.

В отличие от имеющихся пакетов прикладных программ (ТОТЛ-1 и др.), в работе была расширена номенклатура входных параметров, стандартно регламентируемых ГОСТом 26645-85, путем дополнения характеристикой группы сложности отливок, используемой при изготовлении отливок для энергомашиностроения на ОАО «Невский завод». Была разработана блок-схема и составлена программа для определения общего припуска и общего допуска согласно ГОСТу 26645-85 с учетом групп сложности типов отливок. В приведенных в

стандарте рекомендациях указаны достаточно широкие интервалы этих параметров. В работе параметры точности определяются в диалоговом режиме однозначно с учетом многих факторов.

На основании номенклатуры рассматриваемых в работе отливок была создана система классификации отливок. При ее создании использовали такие признаки как общая конфигурация отливки, положение размерной базы, положение номинального размера и его отсчет от отмеченной размерной базы. Фрагмент такой классификации приведен в табл.1.

Таблица 1

Система классификации отливок (фрагмент)

ТИП ОТЛИВОК	ТИП БАЗЫ	ТИП РАЗМЕРА
Полуцилиндр Брус Плита с отверстиями	Нижняя плоскость выступа Вертикальная плоскость	*Внутренний диаметр цилиндра* Внутренний горизонтальный размер, параллельный плоскости разъёма

Отливки, относящиеся к типу «плита» и «брус», описываются простой схемой силового взаимодействия, поскольку они имеют простую конфигурацию. В отливках типа «полуцилиндр» особенность усадки проявляется в короблении цилиндрической части. В результате усадки происходит значительное изменение размеров относительно оси «полуцилиндра». При этом, если у полуцилиндра имеется наружный фланец, то в процессе усадки он значительно изменяет свое геометрическое положение относительно оси полуцилиндра, и в заводских условиях обычно толщину фланца приходится увеличивать сваркой. В продольном направлении «полуцилиндра» усадка реализуется по схеме, аналогичной схеме для отливок типа плиты и бруса.

Особенностью усадки отливок типа «плита с отверстием» и «цилиндр» является то, что центральный стержень в большей степени тормозит усадку внутренних зон по сравнению с их периферийными частями.

Каждый размер отливки имеет свою литейную размерную базу. Положение этих размерных баз может быть различным. Обычно базы назначают на вы-

ступающих частях, параллельных плоскости разъема, на необрабатываемой боковой поверхности и на оси симметрии. Возможно и другое расположение размерных баз, учитывающее особенности конструкции отливки.

На основании анализа размерных баз в зависимости от их места расположения выделили следующие типы: *нижняя плоскость выступа, вертикальная плоскость, вертикальная ось отверстия, база на затылке фланца, плоскость разъема* (табл. 1).

От описанных размерных баз измеряется номинальный размер, который определяет целый ряд особенностей, рассматриваемых с точки зрения оценки вида схем силового взаимодействия отливки и форм. Например, если отливка коробчатой формы имеет открытую одну сторону, то один и тот же размер у боковой стенки и в открытой части будет иметь различную величину. Будет отличаться также и наименование типа размера. Особенности различий размеров сформулировано в виде следующей классификации: *внутренний диаметр цилиндр; внутренний горизонтальный размер, параллельный плоскости разъём; размер незамкнутой полости; высота, перпендикулярная плоскости разъём; высота, включающая плоскость разъёма; горизонтальный размер, параллельный плоскости разъёма; наружный диаметр цилиндра* (табл.1).

Таким образом, классификационный перечень типов отливок был составлен на основе существенных геометрических различий, рассматриваемых с позиций силового взаимодействия отливки и формы и возможного коробления отливок. На основе разработанной системы классификации и полученных экспериментальных данных создали алгоритм управления базами данных, который позволяет выполнять расчеты припуска и допуска размера отливок и прогнозировать усадку отливок с различными классификационными признаками. Структура этого алгоритма включает следующие составляющие:

1) база исходных данных отливок содержит: шифры наименований, номера чертежей, массу отливок, чертежи и технологии изготовления отливок, выполненные в программном пакете «AUTOCAD»;
2) список марок сталей и их шифры;

3) список наименований типов отливок, различающихся по конфигурации в соответствии с принятой классификацией отливок, и шифр конфигурации;
4) список возможных типов размерных баз, различающихся по их положению в отливке, которые позволяют фиксировать отклонения размеров в связи с короблением отливок и (или) сложным силовым взаимодействием между отливкой и формой;
5) список возможных типов размеров, различающихся по направлениям относительно базовых элементов отливки, позволяющих фиксировать отклонения при формировании данного чертёжного размера за счёт различия силового взаимодействия между отливкой и формой для различных участков отливки, и шифр типа размера;
6) список, содержащий номинальные размеры отливок и описанные выше сведения (значения общего припуска, значение общего допуска, значение размера в форме и т. д.) для данного размера, а также набор указанных шифров, характеризующих данное измерение.

Разработанная информационная система включает в себя функции ввода, дополнения и корректировки данных. При этом возможно группировать данные измерений по любым признакам, вычислять значения усадки для каждой записи и усреднять по группе данных с одновременным проведением математического анализа данных на достоверность измерений. Созданная информационная система имеет открытую архитектуру, т.е. позволяет добавить новые измерения в банк данных и изменить критерии сортировки данных без изменения обслуживающих банк данных программ. При группировке данных измерений (табл.2) одновременно по трем признакам (тип отливки, тип размерной базы и тип размера) установлено, что для одинаковых по конфигурации отливок у одинаковых типов размеров и баз значения фактической усадки имеют незначительный разброс (0,2-1%).

Однако разработанная информационная система подходит для сравнительно ограниченного типа отливок. Несмотря на большой объём имеющихся в системе значений фактических реализованных усадок в отливках, этот объём не

всегда обеспечивает практические потребности технологического проектирования. Для пополнения номенклатуры отливок различной и сложной конфигурации, различной массы и габаритных размеров необходимо создать для каждого типа отливки свою математическую модель, решаемую численными методами, которая имитирует схему силового взаимодействия отливки с формой во времени.

Четвертая глава посвящена разработке обобщенной реологической модели напряженно-деформированного состояния формы из жидкостекольной формовочной смеси и стальной отливки при ее охлаждении.

При определении реологических характеристик стали 30Л в качестве основы использовали методику и математическую модель для определения поведения стали во всем температурном интервале охлаждения, разработанную к.т.н., доцентом кафедры физико-химии литейных сплавов и процессов СПбГПУ Матвеевым И.А.:

$$\left.\begin{aligned} &\sigma_1 = \delta_1 \cdot \mathrm{E}_1; \\ &\sigma_2 = \delta_2 \cdot \mathrm{E}_2 + \eta_2 \cdot \dot{\delta}_2; \\ &\dot{\delta}_3 = \begin{cases} 0 \text{ и } \delta_3 = 0, \text{ если } \sigma_3 \le \sigma_s, \\ \dfrac{1}{\eta_1}(\sigma_3 - \sigma_s), \text{ если } \sigma_3 > \sigma_s; \end{cases} \\ &\delta_{металла} = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3; \end{aligned}\right\} \qquad (1),$$

где: σ - напряжение, МПа; δ - деформация, отн.ед; E – модуль упругости, МПа; η - коэффициент вязкости, МПа·с; σ_s - предел текучести, МПа.

Для определения реологических свойств металла была использована расчетно-экспериментальная методика, которая включает в себя экспериментальное определение усадочных деформаций как функцию температуры и времени, и программное обеспечение, которое основано на подборе реологических коэффициентов для разработанных моделей.

Для определения усадочных деформаций была использована экспериментальная установка, в которой опытный образец с одной стороны претерпевает свободную, а с другой стороны испытывает затрудненную усадку, которая создается с помощью приложения усилия торможения усадки. Для регистрации

экспериментальных данных использовали датчики перемещения, которые через преобразователь сигналов соединены с вычислительной техникой.

В результате проведенных экспериментов получили зависимости свободной и затрудненной усадки от температуры и их развития во времени (рис. 3). Провели разделение суммарной упруго-пластической деформации на ее составляющие посредством мгновенной разгрузки отливки-образца при различных температурах по мере его охлаждения. Анализ кривых развития деформации под действием нагрузки и разгрузки образца при различных температурах показал, что при разгрузке образец сжимается и, таким образом, реализуется упругая составляющая суммарной деформации, после чего происходит явление упругого последействия.

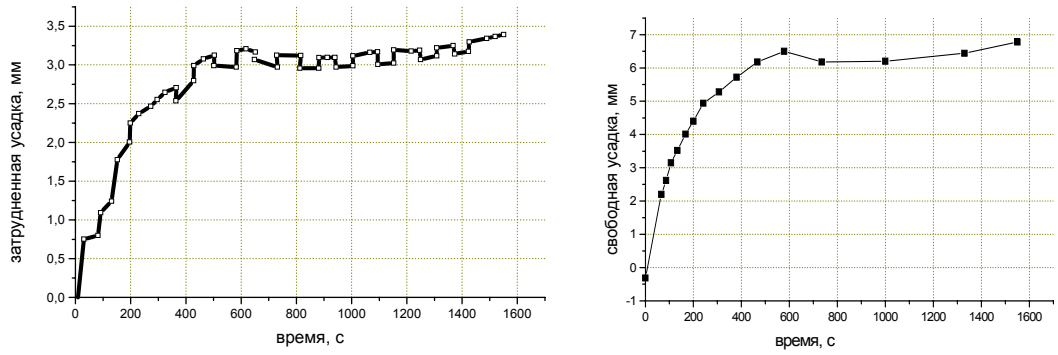

Рис. 3 Развитие свободной и затрудненной усадки при охлаждении отливки

Для определения модуля упругости и коэффициента вязкости стали были взяты экспериментальные значения развития деформации во времени для стали 30Л и с помощью реологической модели (1) определены значения этих коэффициентов (рис. 4).

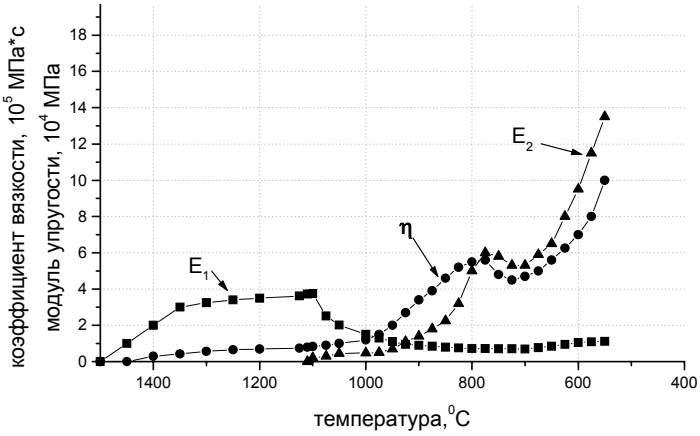

Рис. 4 Изменение реологических характеристик стали в процессе охлаждения отливки

(E_1-модуль мгновенной упругости, E_2-модуль запаздывающей упругости, η-коэф.вязкости)

В результате численного расчета определены реологические характеристики, которые были описаны с помощью полиномов, что позволяет использовать их при дальнейшем моделировании деформационных процессов в отливке.

Для учета влияния деформации смеси на охлаждающуюся отливку были использованы экспериментальные данные, полученные Юновичем Ю.М. и др. На основе анализа результатов экспериментов построили реологическую модель поведения жидкостекольной смеси во время нагрева:

$$\left.\begin{aligned} &\sigma_1 = \delta_{1ф} \cdot E_{1ф}; \\ &\sigma_2 = \delta_{2ф} \cdot E_{2ф} + \eta_{2ф} \cdot \dot{\delta}_{2ф}; \\ &\delta_ф = \delta_{1ф} + \delta_{2ф}; \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

Каждый элемент представленной модели поведения формовочной смеси отражает реологические свойства входящих в смесь компонентов: $E_{1ф}$-элемент Гука характеризует упругость зерен наполнителя, элементы η_2 и $E_{ф2}$ - соответственно объемную вязкость и упругость связующего.

При условии идеального контакта на границе "отливка-форма" деформация отливки будет равна:

$$\delta_{конечная} = \delta_{металла} - \delta_{формовочной\ смеси} \qquad (3)$$

Обобщенная реологическая модель напряженно-деформированного состояния отливки в форме представляет собой совместное решение уравнений (1), (2) и (3).

Для определения кинетики развития усадочных деформаций и проверки адекватности полученных результатов была применена специальная отливка-образец, состоящая из элементов различного сечения, неравномерное охлаждение которых сказывается на величине усадочных деформаций. Схема эксперимента представлена на рис. 5.

Отливка 5 (рис.5), имеющая тонкую стяжку сечением F_1 и массивную дугу сечением F_2, была изготовлена из стали 30Л путем заливки формы в горизонтальном положении через стояк, расположенный в средней части дуги.

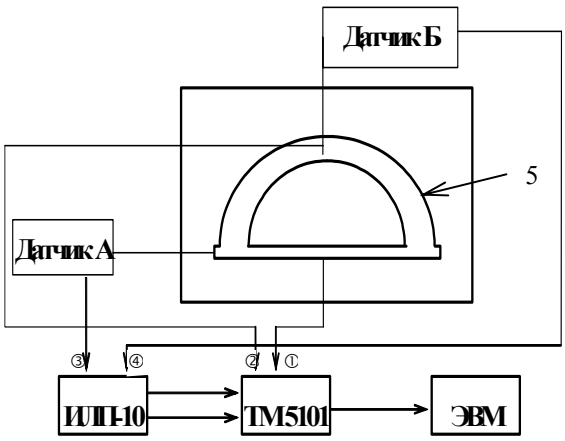

Рис. 5 Схема проведения эксперимента: 1,2 – термопары, 3,4 – датчики перемещения, 5 – отливка-образец

Для получения данных по кинетике развития усадки пробы, как единой системы, производилась запись изменения размера тонкой перемычки дуги и самой дуги в процессе охлаждения. Одновременно записывались кривые охлаждения тонкой и толстой частей отливки, для регистрации которых устанавливались две термопары, одна (1) - в центре сечения дуги непосредственно у стояка, другая (2) - в центре стяжки посредине ее длины. Для записи кинетики развития усадочных деформаций как стяжки, так и массивной дуги установлены датчики перемещения (3,4). Все данные в процессе охлаждения отливки автоматически записывались в файл на ЭВМ. После заливки образец охлаждался в форме до комнатной температуры.

В отливке-образце из исследуемой стали охлаждение тонкого бруска (рис. 6) до 900^0С сопровождается развитием в нем растягивающих (положительных) деформаций вследствие термического взаимодействия одних частей отливки с другими. В интервале превращения аустенита в перлит на части отливки накладываются слабые сжимающие деформации, усиливающиеся до момента начала превращения в толстом бруске. В результате суммирования уменьшаются растягивающие деформации. В период превращения в толстом и тонком сечениях появляются слабые растягивающиеся термические деформации. Из-за разной толщины элементов отливки они затвердевают разновременно, но так как связь

между элементами жесткая, то они не могут изменять свои размеры независимо друг от друга.

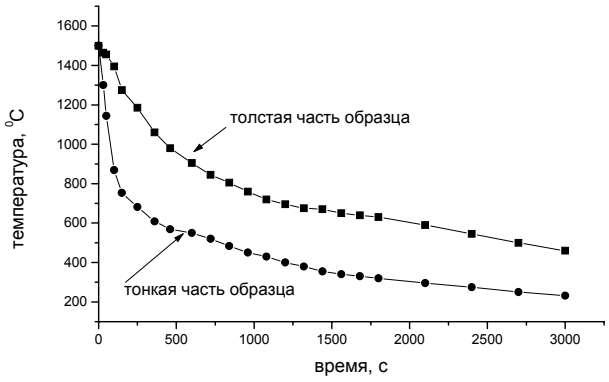

Рис. 6 Кривые охлаждения частей отливки – образца

В процессе охлаждения на дугу действует стержень, который со своей стороны также препятствует ее свободной усадке. Чем меньше податливость стержня, тем больше деформация дуги. Реализованная усадка элементов отливки, с точки зрения условия неразрывности, будет равняться деформации формы. Характер деформации в элементах отливки показан на рис. 7.

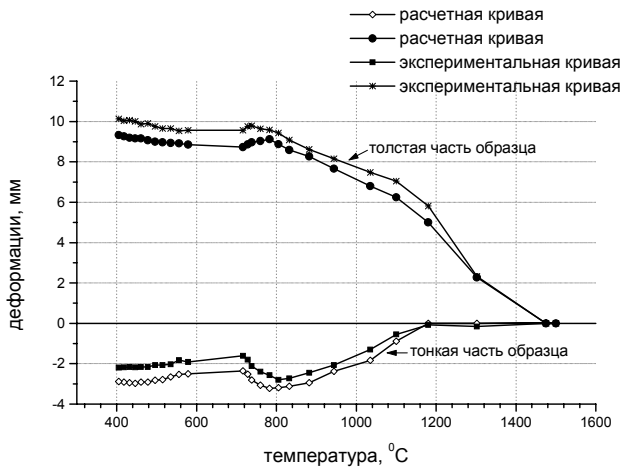

Рис 7. Экспериментальная и расчетная кривые развития деформации тонкой и массивной частей отливки, сталь 30Л

В результате анализа полученных результатов установлено, что полученная обобщенная реологическая модель напряженно-деформированного состояния отливки при охлаждении ее в форме дает значения, количественно и качественно адекватные экспериментальным значениям.

Разработанная реологическая модель применена для моделирования напряженно-деформированного состояния отливки типа «корпус» рис.8,а. Отливка условно ее разбита на 4 элемента (рис.8,б), после чего произведен тепловой и деформационный расчеты. Тепловой расчет основан на численном решении уравнения Фурье с необходимыми граничными условиями.

а) б)

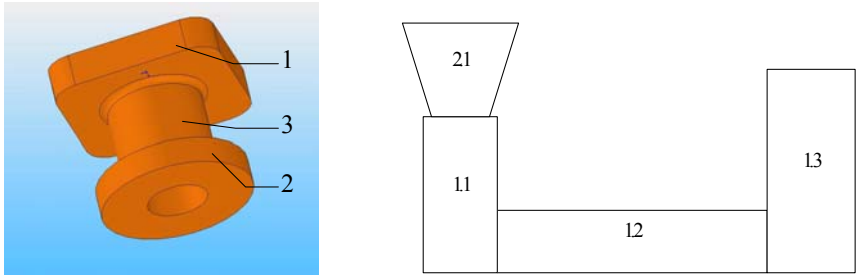

Рис. 8 Общий вид отливки «корпус» (а) и схема разбиения отливки на части (б): где (1.3 соответствует элементу отливки 1, 1.2 – 3, 1.1- 2, 2,1 – прибыль)

Для получения температурных кривых охлаждения произведено моделирование охлаждения двух сечений, проходящих по центрам элементов. Для каждого момента времени на основе рассчитанных значений температур отливки определяли значения свободной усадки. Далее были получены расчетные кривые развития упруго-пластических деформаций различных частей отливки. Рассчитав значение свободной усадки для стали, были определены значения реализованной усадки (рис. 9) для каждой части в каждый момент времени их охлаждения. Сравнение рассчитанной реализованной усадки (1,89) с имеющимися литературными данными (1.8%.) свидетельствует о необходимой точности данной реологической модели и возможности ее применения в производственных условиях.

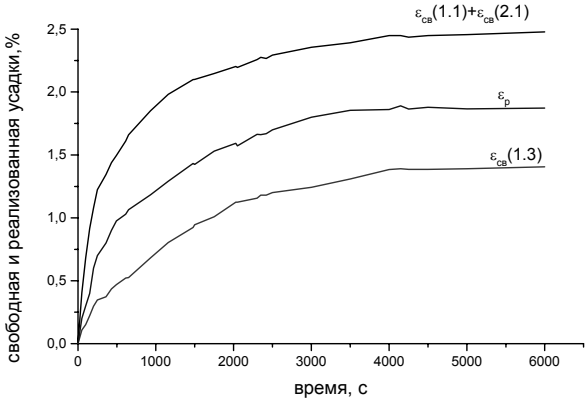

Рис. 9 Развитие усадок в отливке «Корпус» в условиях реального взаимодействия с формой.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ.

1. Получены достоверные значения размеров исследуемых отливок, произведен расчет значения усадки для каждого размера отливки и анализ результатов по определению размерной точности отливок.
2. Разработана система классификационных признаков отливок, построен алгоритм и написана программа прогнозирования дифференцированной действительной усадки для локальных участков отливок с целью использования ее на стадии проектирования литейной технологии, на основании чего предложена система прогнозирования деформационных процессов в отливке с целью обеспечения ее геометрической точности.
3. Сформирована компьютерная база данных отливок по технологии их изготовления, используемая для информационного обеспечения программы прогнозирования дифференцированной действительной усадки.
4. Выявлены закономерности изменения эффективных значений реологических характеристик стали 30Л в зависимости от температуры.
5. Проведен анализ деформационных процессов, происходящих при взаимодействии отливки с формой во время охлаждения, и разработана обобщенная реологическая модель напряженно-деформированного состояния формы из жидкостекольной формовочной смеси и стальной отливки при ее охлаждении.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Матвеев И.А., Десницкая Л.В., Желателева Р.В. Моделирование напряженно-деформированного состояния отливки и формы. В сб.: Литейное производство сегодня и завтра. Тез. докл. всерос. науч.-практ. конф. СПб.: СПбГПУ.- 2004 г. – С. 211-219.
2. Матвеев И.А., Желателева Р.В., Десницкая Л.В., Ольховик Е.О. Деформационные процессы при формировании размерной точности стальных отливок: Монография. СПб.: ПИМаш.- 2005. - 124с.
3. Матвеев И.А., Желателева Р.В. Деформационные процессы отливки и формы в период затвердевания и охлаждения стальных отливок. 33 нед.науки СПбГПУ: Материалы Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов Ч.3 СПбГПУ Изд-во Политехн. Ун-та.- 2005 г. – С. 113.
4. Желателева Р.В., Ольховик Е.О. Разработка модели силового взаимодействия отливки с литейной формой при затвердевании. В сб.: Фундаментальные исследования в технических университетах Тез. докл. всерос. науч.-практ. конф. СПб.: СПбГПУ.- 2006 г. – С. 349-350.
5. Ольховик Е.О., Желателева Р.В., Матвеев И.А., Молчанюк Р.А. Экспериментальное исследование развития затрудненной усадки в стальных отливках // Литейщик России.- 2006г. - № 5. - С.38 - 40.

Автор приносит глубокую благодарность научному консультанту к. т. н. И.А. Матвееву.

Таблица 2

Результаты группирования размеров по классификационным признакам и значения усадки.

Тип отливки	Брус			Средняя усадка, %
Тип базы	Нижняя точка выступа	Размер	Высота перпендикулярная плоскости разъема	1,11
	Вертикальная плоскость		Горизонтальный размер, параллельный плоскости разъема	1,78
Тип отливки	Полуцилиндр			
Тип базы	Нижняя точка выступа	Размер	Высота, перпендикулярная плоскости разъема	2,23
	Вертикальная плоскость		Внутренний диаметр цилиндра	1,37
			Горизонтальный размер, параллельный плоскости разъема	1,39
			Наружный диаметр цилиндра	2,62
	Вертикальная ось отверстия		Внутренний диаметр цилиндра	2,45
			Наружный диаметр цилиндра	1,74
	База на затылке фланца		Внутренний горизонтальный размер, параллельный плоскости разъема	2,54
			Высота, перпендикулярная плоскости разъема	-1,58
			Высота, включающая плоскость разъема	2,90
			Горизонтальный размер, параллельный плоскости разъема	-1,89
	Плоскость разъема		Внутренний диаметр цилиндра	2,32
			Наружный диаметр цилиндра	1,74
Тип отливки	Плита с отверстием			
Тип базы	Нижняя точка выступа	Размер	Высота, перпендикулярная плоскости разъема	3,92
	Вертикальная плоскость		Незамкнутая полость	2,45
			Горизонтальный размер, параллельный плоскости разъема	1,90
			Наружный диаметр цилиндра	1,41
	Вертикальная ось отверстия		Внутренний диаметр цилиндра	1,19
			Горизонтальный размер, параллельный плоскости разъема	2,25
			Наружный диаметр цилиндра	2,34
Тип отливки	Цилиндр			
Тип базы	Нижняя точка выступа	Размер	Высота, перпендикулярная плоскости разъема	1,04
	Вертикальная ось отверстия		Внутренний диаметр цилиндра	1,14
			Незамкнутая полость	1,18
			Наружный диаметр цилиндра	0,45
Тип отливки	Плита			
Тип базы	Нижняя точка выступа	Размер	Высота, перпендикулярная плоскости разъема	0,93