

М404161

НА ДОМ
НЕ ВРАЩАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР
МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ
УЧИЛИЩЕ им.Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи
УДК 669.715.48:621,74.043

ГОРОДНИЧИЙ Николай Иванович

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА И ПОВЫШЕНИЯ
ТОЧНОСТИ РАЗМЕРОВ КОКИЛЬНЫХ ОТЛИВОК ИЗ ВТОРИЧНЫХ
АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

специальность 05.16.04 -
литейное производство

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском и проектном институте вторичных цветных металлов.

Научный руководитель - кандидат технических наук
Каширцев Л. П.

Официальные оппоненты: Чурсин В. М. доктор технических наук, профессор
Воробьев Ю. А. кандидат технических наук, доцент

Ведущее предприятие: ЗИЛ

Защита состоится " _____ " _____ 1983 г. на заседании специализированного Совета К. 053.15.13 в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н. Э. Баумана по адресу: Москва, 107005, 2-я Бауманская улица, д. 5.

Ваш отзыв в I-м экземпляре, заверенный печатью, просим выслать по указанному адресу.

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

Автореферат

специ
кандид

Г. С.

Подп. к п
Заказ №

Л-99356

M 404 161

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. XXVI съезд КПСС поставил задачу обеспечения народного хозяйства высокопроизводительным оборудованием с одновременным снижением его материалоемкости. Для ее решения необходимо повышение качества литья и, в первую очередь, точности размеров отливок.

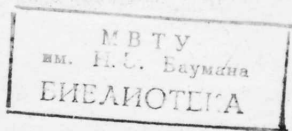
Критерий точности – это суммарная погрешность размера отливки, состоящая из систематической и случайной погрешностей. Систематическая погрешность размера возникает из-за некорректного назначения соответствующего размера формы. Случайная погрешность размера – результат нестабильности факторов технологического процесса литья. Ее формирование можно описать технологическим наследованием погрешностей размера, возникающих на отдельных этапах литья.

В работе получена математическая модель формирования погрешностей размеров отливок на основе теории технологического наследования для кокильного литья вторичных алюминиевых сплавов. Согласно модели разработан метод управления формированием точности кокильных отливок. Эта проблема актуальная в связи с требованием снижения, а, где возможно, и исключения припусков на механообработку.

Цель работы – разработка для кокильных отливок методов расчета и управления точностью размеров при литье вторичных алюминиевых сплавов.

Основная научная задача, на основе которой достигается поставленная цель, это установление закономерностей формирования погрешностей размеров кокильных отливок из вторичных алюминиевых сплавов, разработка на основе знания этих закономерностей методов расчета исполнительных размеров кокильной оснастки, оценки погрешностей размеров отливок и управления формированием их точности.

Методы исследования. Экспериментальное исследование формирования погрешностей размеров отливок и реологическое исследование сплавов выполнены методом классического эксперимента, результаты обработаны методами математической статистики. Экспериментальное исследование усадки сплавов выполнено методом математического планирования экспериментов с



помощью плана I-го порядка, матрица 2^{4-1} . Для сравнения результатов привлечены экспериментальные данные других исследователей.

Научная новизна полученных результатов заключается в установлении закономерностей формирования погрешностей размеров кокильных отливок из вторичных алюминиевых сплавов. Эти закономерности состоят в следующем:

1. Формирование погрешностей размеров кокильных отливок — явление технологического наследования погрешностей, заключающееся в том, что погрешности размера отливки, возникающие на отдельных этапах технологического процесса, накапливаются в ходе его реализации.

2. Ведущая роль в формировании суммарной погрешности размера отливки принадлежит усадочным и деформационным процессам. Систематическая погрешность возникает из-за некорректного назначения исполнительных размеров формообразующих элементов кокильной оснастки, вследствие недостаточного или неправильного учета усадочно-деформационных процессов. Случайные погрешности обусловлены нестабильностью факторов этих процессов при изготовлении отливок.

3. Наибольшее влияние на формирование случайной погрешности размера цилиндрической кокильной отливки оказывает ее деформирование при охлаждении и извлечении из кокиля. Поэтому определены реологические модель и свойства вторичных алюминиевых сплавов в области температур $(0,5-0,95) T_c$, позволяющие рассчитать деформации отливок при их охлаждении и извлечении из кокиля. В этом диапазоне температур вторичные алюминиевые сплавы, с достаточной для практики точностью, можно считать упруго-пластическими телами. Показатели прочности этих сплавов в 2-3 раза превосходят аналогичные показатели первичных сплавов, а их пластические свойства в 3-4 раза меньше пластическим свойствам первичных сплавов.

4. Основной путь стабилизации размеров кокильных отливок — т.е. уменьшение случайных погрешностей — стабилизация температур кокиля и отливки при ее извлечении из кокиля.

Практическая ценность работы заключается в том, что на основе проведенных исследований разработаны методы расчета

исполнительных размеров кокильной оснастки и определения номинальных значений факторов технологического процесса, а также допусков на них, позволяющие получать размеры отливки в пределах заданного допуска. Определены оптимальные температуры выливки отливок из вторичных алюминиевых сплавов.

Реализация работы в промышленности. Результаты работы внедрены на Дрогобычском заводе автомобильных кранов

для изготовления кокильных отливок из сплавов АК5М7 и АК5М2. Кокильная оснастка изготовлена без доводки, а размеры отливок получены в пределах заданных допусков. На основе результатов работы разработана методика расчета исполнительных размеров кокильной оснастки при литье вторичных алюминиевых сплавов.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались и обсуждались:

- на I-й и II-й научно-технических конференциях "Молодые ученые - научно-техническому прогрессу в металлургии", Донецк, 1977, 1979 г.;

- на I-й Всесоюзной конференции "Закономерности формирования структуры сплавов эвтектического типа", Днепропетровск, 1979 г.;

- на Всесоюзном научно-техническом семинаре "Повышение технико-экономических показателей производства и качества продукции литейных цехов предприятий цветной металлургии", Запорожье, 1980 г.;

- на научном семинаре кафедры "Машины и автоматизация литейных процессов" МВТУ им. Н.Э.Баумана, 1978, 1981, 1982 г.;

- на научном семинаре кафедры "Машины и технология литейного производства" Краматорского индустриального института, Краматорск, 1977-1981 гг.;

- на научно-техническом совете Всесоюзного научно-исследовательского и проектного института вторичных цветных металлов, Донецк, 1979, 1982 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 5 статей, получено 1 авторское свидетельство на изобретение.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и приложений. Она изложена на 220 с текста, содержит 64 таблицы, 64 иллюстрации, список литературы из 161 наименования, в том числе приложение на 45 с, включающее 36 таблиц и 5 иллюстраций.

2. АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ РАЗМЕРОВ КОКИЛЬНЫХ ОТЛИВОК

Существенное изменение начальных размеров отливок в ходе технологического процесса под влиянием весьма многочисленных факторов литья – суть проблемы формирования точности размеров.

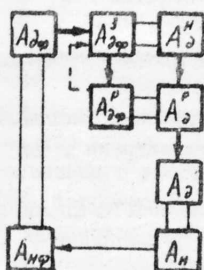


Рис. I. Схема изменения размеров отливки и формы при литье

и формы остается равным размеру формы $A_{дф}^р$. Размеры $A_{дф}^р$ и $A_д$ совместно изменяются в результате усадочно-деформационных процессов в системе отливка-форма. Дальнейшее изменение размера $A_д$ происходит после разделения отливки и формы под действием усадки и деформаций отливки при ее охлаждении. Под разделением понимается как отход отливки от соответствующих поверхностей формы в результате усадки, так и извлечение отливки.

Полученный действительный размер отливки $A_д$ включает систематическую погрешность δ_c из-за неточности ^{расчета} номинального размера формы $A_{дф}$ и случайную погрешность δ_v , возникшую при изменении размеров формы и отливки в ходе технологи-

ческого процесса литья.

Для оценки точности (суммарной погрешности δ_{Σ}) размеров кокильных отливок технологический процесс их изготовления можно разбить на ряд этапов и выделить погрешности δ_i , возникающие на каждом из них (табл.1).

Ю.А.Степанов предложил формирование погрешностей размеров отливок описывать теорией технологического наследования, суть которой состоит в том, что погрешность размера отливки δ_i на любом этапе ее изготовления с учетом коэффициента передачи S_i наследует погрешность, возникшую на предшествующих этапах технологического процесса.

В соответствии с этой теорией процесс формирования погрешностей размеров можно описать математической моделью:

$$\left. \begin{aligned} A_n &= (A_{np} \pm 2S_{kp}) / (1 + \beta_{\varphi} \Theta_{\varphi_1}) / (1 + \beta_{\varphi} \Theta_{\varphi_2}) / (1 - \epsilon^e) / (1 - \Theta_1); \\ \delta_n &= \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i \Delta X_i)^2 + 2 \sum_{i,j \neq i} S_i \Delta X_i S_j \Delta X_j \epsilon_{je}}; \\ \Delta X_i &= X_{i \max} - X_{i \min}; \\ S_i &= \left| \frac{\partial A_n}{\partial X_i} \right|; \end{aligned} \right\} \quad (I)$$

в которой S_{kp} - толщина краски, β_{φ}, β - коэффициент температурного расширения материалов формы и отливки, $\Theta_{\varphi_1}, \Theta_{\varphi_2}$ - избыточная температура формы перед заливкой и при ее разделении с отливкой, Θ_1 - избыточная температура отливки при извлечении, ϵ^e - упругая деформация отливки при ее извлечении из формы, ΔX_i - интервал рассеивания фактора, определяющий соответствующую ему погрешность размера $\delta_i = S_i \Delta X_i$; ϵ_{je} - коэффициент корреляции.

Из всех факторов технологического процесса литья неизвестна упругая деформация отливки при извлечении ее из кокиля, дающая до 85% всей случайной погрешности размера.

3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Объект исследования - вторичные литейные алюминиевые сплавы АК7, АК5М7, АК5М2, которые нашли широкое применение в народном хозяйстве. Для исследований взяты сплавы с разных заводов ВПО "Союзторцветмет", а также выплавлены их аналоги

Таблица I

Структура погрешностей размеров кожных отливок

Эт. и техноло- гического процесса	Источник погрешности	Факторы, определя- ющие погрешность	Вносимая по- грешность	Коэффициент передачи
1. Изготовление основстки	Погрешности изгото- вления формообразу- ющих элементов кожи	Точность обработки, номинальный размер $A_{нф}$	$d_1 = S_1 \cdot A_{нф}$	$S_1 \approx 1$
2. Окраска кожи	Погрешности окраски	Толщина слоя краски $S_{кр}$	$d_2 = S_2 \cdot \Delta S_{кр}$	$S_2 = 2$
3. Сборка кожной	Погрешности установ- ки стержней и сборки кожи	Точность сборки ко- жи и установки стержней	$d_3 = S_3 \cdot \Delta A_{ф}$	$S_3 \approx 1$
4. Подготовка ко- жи к заливке	Колебания температу- ры кожи перед за- ливкой	Температура кожной перед заливкой $T_{ф1}$	$d_4 = S_4 \cdot \Delta A_{ф}$	$S_4 \approx 1$
5. Заполнение форм, затверде- вание и охлаж- дение отливки в кожле	Колебания темпера- тур кожной при раз- делении отливки и формы накопление обратимой деформации отливки износ формы	Температура кожной при разделении $T_{ф2}$ Колебание $\beta_{ф}$ Величина накопленной обратимой деформации ϵ^e Величина износа Величина износа	$d_5 = S_5 \cdot \Delta T_{ф1}$ $d_6 = S_6 \cdot \Delta T_{ф2}$ $d_7 = S_7 \cdot \Delta \beta_{ф}$ $d_8 = S_8 \cdot \Delta \epsilon^e$ $d_9 = S_9 \cdot \Delta A_{ф}$ $d_{10} = S_{10} \cdot \Delta S_{кр}$	$S_5 = \beta^2 (T_{ф2} - 2\Theta_{ф1}) A_{нф}$ $S_6 \approx \beta_{ф} A_{нф}$ $S_7 \approx T_{ф2} \cdot A_{нф}$ $S_8 \approx A_{нф}$ $S_9 = S_1 = 1$ $S_{10} = S_2 = 2$
6. Измерение от- ливки из формы	Износ (изменение толщины слоя) краски	Температура отливки при отделении	$d_{11} = S_{11} \cdot \Delta T_1$	$S_{11} \approx \beta \cdot A_{нф}$
7. Охлаждение от- ливки вне формы	Колебания температу- ры отливки Колебания коэффи- циента линейного рас- ширения	Коэффициент линейного расширения материала отливки β	$d_{12} = S_{12} \cdot \Delta \beta$	$S_{12} \approx \Theta_1 A_{нф}$
8. Контроль раз- меров отливки	Погрешности изме- рения	Точность мерительного инструмента	$d_{13} = S_{13} \cdot \Delta A_{э}$	$S_{13} = S_1 = 1$

из первичных материалов.

Реологические исследования выполнены на модернизированной установке ИМАШ-5с-69. Применялись плоские образцы толщиной 3 мм и длиной рабочей части 30 мм. Наиболее доступный метод реологических исследований – простое растяжение, позволяющее получить результаты, которые пригодны для расчета любого напряженного состояния. Режимы испытаний: растяжение образца при заданной температуре с заданной скоростью деформирования в пределах области упругих напряжений, затем полная разгрузка и последующее нагружение до разрушения образца; обычное растяжение в изотермических условиях при заданной скорости деформирования и нагрев образца при постоянном растягивающем усилии.

Исследование усадки и усилий при ее затруднении выполнены на специально изготовленной установке. В две нагретые до заданной температуры цилиндрические формы одновременно заливали испытуемые образцы. Снимали осциллограммы (осциллограф КИ2-22) свободной усадки, усилий при ее затруднении и температуру образцов. Точность записи перемещений – 0,016 мм, усилий – 6,0 кг.

Формирование размерной точности исследовалось на цилиндрических отливках, отливаемых в специально изготовленный кокиль. Результаты измерения размеров отливок обработаны согласно ГОСТ 16467-70 "Статистические показатели точности и стабильности технологических операций", ГОСТ 16.304-74 "Управление технологическими процессами. Контроль точности технологических процессов" с привлечением основных положений ГОСТ 16.305-74 "Контроль точности технологических процессов".

4. РЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПЛАВОВ АК7, АК5М7 И АК5М2 В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР ОХЛАЖДЕНИЯ ОТЛИВОК В КОКИЛЕ

Определение реологических характеристик сплавов АК7, АК5М7 и АК5М2 выполнено в диапазоне температур (0,5–0,95) T_c . Кривые деформирования этих сплавов имеют подобный характер. После разгрузки образца до начала пластического течения,

наблюдалась обратимая деформация, при повторном нагружении характер кривой сохраняется (такой как до разгрузки). Диаграммы напряжения - деформации, полученные из кривых растяжения описываются моделью упруго-пластического тела с упрочнением, развивающимся с началом пластического течения. Влияние скорости деформации на характер деформирования не выявлено (в пределах скорости деформации $(0,11-2,7) \cdot 10^{-4}$ 1/с соответствующей скорости охлаждения отливки в кокиле 0,5-10,0 К/с. Реологические параметры сплавов приведены в табл.2.

Пределы прочности σ_e и текучести σ_T для вторичных сплавов в 2-3 раза больше, а относительное удлинение δ в 3-4 раза меньше, чем для аналогичных первичных сплавов. Вследствие высоких значений модуля упругости E и низких модуля пластичности E_K , вторичные сплавы более жестки, чем аналогичные первичные.

Выполненные неизотермические исследования сплавов подтвердили возможность использования результатов изотермических измерений для расчета неизотермических процессов, протекающих в реальных условиях литья в диапазоне температур охлаждения отливки в кокиле.

5. АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

На основе реологических исследований сплавов, а также измерения усадки и усилий от ее затруднения для цилиндрических отливок получена математическая модель ее деформирования при охлаждении в кокиле:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{ij} d\epsilon^T &= d\epsilon_{ij}^e + d\epsilon_{ij}^p; \\ d\epsilon_{ij}^p &= \frac{3s_{ij}}{2\sigma_i} \left(\frac{1}{E_K} - \frac{1}{E} \right) \left(d\sigma_i - \frac{\partial \sigma_T}{\partial T} dT \right); \\ d\sigma_i &= \frac{\partial \sigma_i}{\partial T} dT; \\ s_{ij} &= \frac{\sigma_{ij}}{3}; \sigma_i = \sqrt{d_{ij} s_{ij} s_{ij}}; \\ E_K, E, \sigma_T, \epsilon^T &= a_i T^2 + b_i T + c_i; \\ \sigma_0^e &= \epsilon_0^m E + (\epsilon_0 - \epsilon_0^m) E_K; \text{ при } \epsilon_0 \geq \epsilon_0^m \text{ и } T_i \leq T \leq T_0 \\ \epsilon_{ij}^e &= 0 \text{ при } T = T_p; \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Таблица 2

Реологические параметры вторичных алюминиевых сплавов в интервале температур охлаждения отливки

Температура ($T \pm 1$) К	Предел текучести σ_T , МПа	Модуль упругости E , ГПа	Модуль пластичности E_K , МПа	Относительное удлинение, δ , %
<u>Сплав АК7</u>				
573	$68,0 \pm 3,2$	$59,0 \pm 5,1$	-	$1,5 \pm 0,4$
623	$37,0 \pm 2,5$	$56,0 \pm 4,8$	$1140,0 \pm 15,0$	$10,0 \pm 2,0$
673	$16,0 \pm 1,6$	$51,0 \pm 3,6$	$1000,0 \pm 10,0$	$12,0 \pm 2,0$
693	$10,0 \pm 1,4$	$49,0 \pm 3,2$	$940,0 \pm 9,0$	$20,0 \pm 2,5$
723	$4,0 \pm 1,2$	$45,0 \pm 2,9$	$850,0 \pm 7,0$	$22,0 \pm 3,0$
753	$2,0 \pm 0,3$	$41,0 \pm 2,7$	$770,0 \pm 6,0$	$19,0 \pm 2,0$
783	$1,9 \pm 0,2$	$37,0 \pm 2,6$	$680,0 \pm 6,0$	$5,0 \pm 1,0$
803	$1,5 \pm 0,1$	$34,0 \pm 2,4$	$620,0 \pm 5,0$	$0,7 \pm 0,2$
813	$1,2 \pm 0,1$	$33,0 \pm 2,2$	-	$0,4 \pm 0,1$
<u>Сплав АК5М7</u>				
573	$107,0 \pm 4,0$	$58,0 \pm 6,0$	-	$1,1 \pm 0,3$
623	$68,0 \pm 4,2$	$55,0 \pm 5,0$	-	$1,2 \pm 0,3$
673	$39,0 \pm 3,0$	$50,0 \pm 3,0$	$9230,0 \pm 70,0$	$3,4 \pm 1,0$
693	$30,0 \pm 2,5$	$48,0 \pm 3,0$	$9180,0 \pm 60,0$	$4,2 \pm 1,0$
723	$20,0 \pm 1,5$	$46,0 \pm 2,5$	$9080,0 \pm 55,0$	$7,5 \pm 1,5$
753	$11,0 \pm 2,0$	$43,0 \pm 2,0$	$9000,0 \pm 50,0$	$4,8 \pm 1,0$
783	$4,0 \pm 0,7$	$40,0 \pm 1,5$	$8910,0 \pm 65,0$	$6,8 \pm 1,0$
803	$1,5 \pm 0,2$	$37,0 \pm 1,5$	-	$1,7 \pm 0,3$
<u>Сплав АК5М2</u>				
573	$92,0 \pm 6,0$	$53,0 \pm 4,1$	-	$0,9 \pm 0,4$
623	$50,0 \pm 3,0$	$52,0 \pm 6,0$	-	$4,0 \pm 0,3$
673	$30,0 \pm 3,0$	$48,0 \pm 5,0$	$3700,0 \pm 65,0$	$6,0 \pm 0,3$
693	$17,0 \pm 2,7$	$47,0 \pm 3,1$	$3650,0 \pm 70,0$	$8,0 \pm 0,1$
723	$8,0 \pm 1,0$	$44,0 \pm 2,5$	$3560,0 \pm 70,0$	$8,0 \pm 0,2$
753	$5,0 \pm 0,5$	$40,0 \pm 1,5$	$3480,0 \pm 50,0$	$8,0 \pm 0,1$
783	$2,5 \pm 0,4$	$34,0 \pm 2,0$	$3390,0 \pm 60,0$	$0,6 \pm 0,05$
803	$1,8 \pm 0,1$	$32,0 \pm 1,8$	-	$0,5 \pm 0,05$

в которой $d\epsilon^T; d\epsilon_{ij}^e; d\epsilon_{ij}^p$ - приращения температурной, упругой и пластической деформаций; E и E_K - модули упругости и пластичности; S_{ij} и σ_i - девиатор и интенсивность напряжений; δ_{ij} - символ Кронекера; σ_T - условный предел текучести материала отливки; T_p - температура перехода сплава из упруговязкопластического состояния в упругопластическое; T_l - температура извлечения отливок; σ_0 и ϵ_0 - напряжение и упругая деформация образца при одноосном растяжении; ϵ_0^m - упругая деформация образца при растяжении, соответствующая пределу текучести; a_i , b_i и c_i - коэффициенты аппроксимации (табл.3).

Таблица 3

Коэффициент	Размерность	С п л а в ы		
		AK7	AK5M7	AK5M2
a_e	K-2	$1,823 \cdot 10^{-7}$	0,0	$8,255 \cdot 10^{-8}$
b_e	K-I	$-2,853 \cdot 10^{-4}$	$-3,075 \cdot 10^{-5}$	$-1,470 \cdot 10^{-4}$
b_K	МПа/К	-2,9	-2,92	-2,86
c_K	МПа	2950,0	11200,0	5630,0
a_e	МПа/К ⁻²	-0,243	-0,17	-0,32
b_e	МПа/К	224,3	147,0	350,0
c_e	МПа	10259,0	29000,0	-42000,0
a_e	МПа/К ²	$1,93 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,95 \cdot 10^{-3}$
b_e	МПа/К	-2,98	-3,17	-3,08
c_e	МПа	1132,0	1267,0	1217,0
T_p	К	810	800	790

Решение системы уравнений для цилиндрической отливки в предположении равенства нулю осевых деформаций для окружной пластической деформации имеет вид:

$$\epsilon_r^p = K \left[C_1 (T_p - T_l) + C_2 \ln \frac{E_K}{E_1} - C_3 \ln \frac{E_p}{E_1} - C_4 \ln \left| \frac{(T_p + C_5)(T_l + C_6)}{(T_p + C_6)(T_l + C_5)} \right| \right]; \quad (3)$$

где $C_1 = \frac{2a_e}{b_K}$; $C_2 = \frac{b_e b_K - 2a_e c_e}{b_e^2}$; $C_3 = \frac{a_e}{a_e}$; $C_4 = \frac{a_e b_e - a_e b_e}{a_e \sqrt{b_e^2 - 4a_e c_e}}$;

$$C_{5,6} = \frac{b_e \mp \sqrt{b_e^2 - 4a_e c_e}}{2a_e}; \quad K = \frac{3 \left[\frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{(\ln^2 r_2 / r_1)^2 + \ln^2 r_1 / r_2 + 1} - 1 \right]}{4 \sqrt{(\ln^2 r_2 / r_1)^2 + \ln^2 r_1 / r_2 + 1}};$$

E_p и E_{kp} - модули упругости и пластичности при температуре T_p ; E_s и E_{ks} - модули упругости и пластичности при температуре T_s .

Сравнение расчетных и экспериментальных зависимостей упругой деформации от температуры показало их хорошую сходимость (отклонения между ними не превышают 15%, что находится в пределах погрешностей определения реологических параметров). Также установлено, что можно пренебречь влиянием толщины стенки отливки на упругую деформацию.

6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ РАЗМЕРОВ ОТЛИВОК

Экспериментальная проверка разработанных математических моделей, выполненная на цилиндрических отливках, показала хорошую сходимость расчетных данных с экспериментальными. Определены коэффициенты корреляции и степень влияния отдельных факторов технологического процесса на формирование случайной погрешности размера (табл.4). Из уравнения (1) получены номограммы (рис.2) для расчета номинального размера

Таблица 4

Фактор		Погрешность		Доля влияния, %
Обозначение	Погрешность фактора	Обозначение	Величина	
s_{kp}	0,05 мм	δ_2	0,05	2,23
T_{p1}	50,0 К	δ_4	0,07	4,74
T_{p2}	25,0 К	δ_5	0,03	5,50
ε^s	$1,3 \cdot 10^{-3}$	δ_6	0,13	33,80
T_s	100,0 К	δ_9	0,18	51,93
β	$4,5 \cdot 10^{-6}$ 1/К	δ_{10}	0,045	1,80
			Σ	100,0

кокиля по формуле:

$$A_{np} = A_n (1 + \varepsilon_p) \pm 2s_{kp} \quad (4)$$

в которой коэффициент ε_p учитывает тепловые, усадочные и деформационные процессы в системе отливка-форма при охлаждении и извлечении отливки из кокиля. Расчет по номограмме выполняется следующим образом. По заданным температуре отливки при извлечении T_s и температуре формы перед заливкой

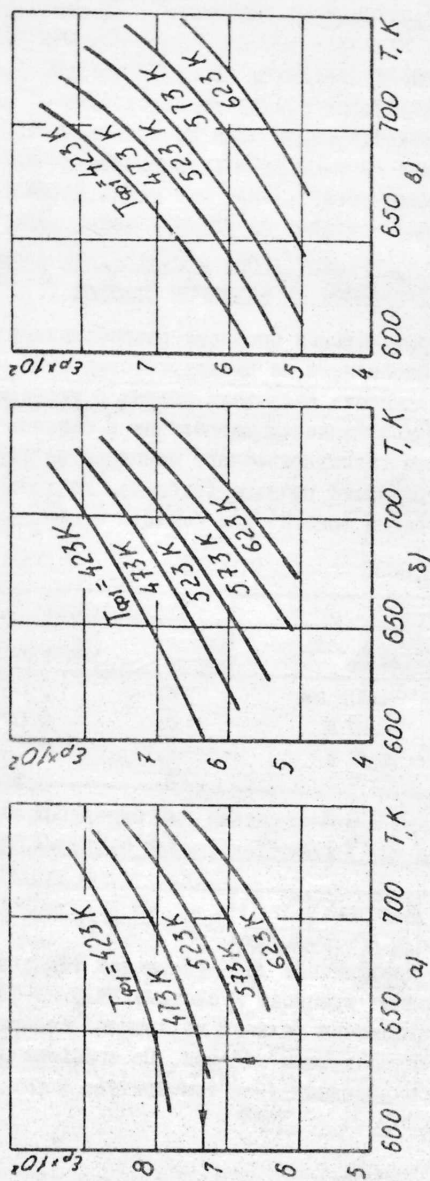


Рис. 2. Номограммы определения ϵ_p для сплавов: а) АК7; б) АК5М7; в) АК5М2.

$T_{ф1}$ определяется расчетный коэффициент ϵ_p . Затем по формуле (4) рассчитывается номинальный размер кокиля. На основе математической модели формирования погрешностей размеров разработана методика для расчета исполнительных размеров формообразующих элементов кокильной оснастки.

Методика практически реализована при проектировании технологического процесса изготовления отливки корпуса пневмораспределительного крана. Точность внутреннего диаметра отливки получена в пределах требуемого допуска, что позволило исключить его механическую обработку. Также внедрена технология литья кокильных отливок повышенной размерной точности (в пределах квалитетов ИСО IT11-IT13).

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Процесс формирования точности размеров кокильных отливок подчиняется законам теории технологического наследования и описывается математической моделью, полученной на основе этой теории.

2. Ведущая роль в формировании суммарной погрешности размера отливки принадлежит усадочным процессам. Систематическая погрешность возникает из-за некорректного назначения исполнительных размеров формообразующих элементов оснастки, вследствие недостаточного или неправильного учета усадочно-деформационных процессов. Случайные погрешности обусловлены не стабильностью факторов этих процессов при изготовлении отливок.

3. Около 85% суммарной погрешности размера цилиндрической отливки возникает из-за нестабильности температуры отливки при ее извлечении из кокиля и деформации при этом. Деформационные процессы в отливке при литье в кокиль определяются кинетикой и динамикой развития усадки в отливке при ее затвердевании и охлаждении в кокиле и реологическими свойствами сплава (материала отливки).

4. Основным способом повышения точности размеров кокильных отливок из вторичных алюминиевых сплавов (уменьшение систематических и случайных погрешностей) является расчет исполнительных размеров кокильной оснастки с учетом

деформационных процессов в отливки при ее охлаждении в кокиле и извлечении, а также стабилизация температур кокиля и отливки при ее извлечении из кокиля.

5. Алюминиевые сплавы АК7, АК5М7 и АК5М2 в диапазоне температур $(0,5-0,95) T_c$ являются реологически упруго-пластическими телами с упрочнением, развивающимся с началом пластического течения. Деформационные процессы в отливках из этих сплавов при литье в кокиль описываются теорией неизотермического пластического течения.

6. Вторичные сплавы АК7, АК5М7 и АК5М2 в интервале температур охлаждения отливок имеют более высокие прочностные и пониженные пластические свойства по сравнению с аналогичными первичными сплавами. Поэтому усадочные напряжения во вторичных сплавах нарастают с понижением температуры более резко и начинают проявляться раньше, чем в аналогичных первичных сплавах. Это обуславливает значительные усилия при извлечении стержней, но допускает более высокую температуру отливок при их извлечении из кокиля.

7. На основе математической модели формирования погрешностей размеров отливок, с использованием реологических модели и свойств вторичных сплавов для цилиндрических отливок диаметром до 300 мм и толщиной стенок до 20 мм и применением теории неизотермического пластического течения, разработан метод расчета исполнительных размеров кокильной оснастки и оценки точности размеров отливок. Метод позволяет свести к минимуму систематическую погрешность размера отливки, а случайную поддерживать в пределах допуска, установленного на размер отливки. Для практического применения метод представлен в виде номограмм.

8. Разработанный метод позволяет получать цилиндрические кокильные отливки из вторичных алюминиевых сплавов, формирующихся в условиях полного торможения усадки, с точностью размеров, соответствующей IT11-IT13 квалитетам ИСО.

9. Полученные результаты позволили разработать технологические процессы изготовления кокильных отливок повышенной точности размеров из вторичных алюминиевых сплавов за счет уменьшения систематической и случайной погрешностей. Техно-

логия внедрена на Дрогобычском заводе автомобильных кранов, экономическая эффективность на двух отливках составила 18,6 тыс.рублей в год.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Городничий Н.И., Бычков Ю.Б., Виткалов И.С. Механические состояния алюминиево-кремниевых сплавов при формировании отливок. - Закономерности формирования структуры сплавов эвтектического типа: Тез. докл., Днепропетровск, 1979, с. 152-153.

2. Каширцев Л.П., Городничий Н.И. Формирование размерной точности кокильных отливок. - Известия ВУЗов. Машиностроение, 1981, № 7, с. 98-102.

3. Городничий Н.И., Бычков Ю.Б., Виткалов И.С. Реологические свойства алюминиево-кремниевых сплавов. Киев, 1981. - 7 с. - Рукопись представлена Всесоюзным науч.-иссл. и проектным ин-том вторичных цветных металлов. Деп. в УкрНИИТИ 4 янв. 1981, № 2379.

4. Городничий Н.И. и др. Влияние деформационных процессов на колебание линейных размеров кокильных отливок. / Н.И.Городничий, Ю.Б.Бычков, И.Е.Тодораки, И.С.Виткалов. - Киев, 1980. - 8 с. - Рукопись представлена Всесоюзным науч.-иссл. и проектным ин-том вторичных цветных металлов. Деп. в УкрНИИТИ 16 июня 1980, № 1865.

5. А.с. № 643339 (СССР). Способ изготовления образцов для высокотемпературных испытаний /Н.И.Городничий. - Опубл. в Б.И. 1979, № 2.

6. Городничий Н.И. Технология изготовления кокильных отливок повышенной точности из алюминиевых сплавов. - Инф. листок /ЦБТИ, Ворошиловград, 1981, № 80-51, с. 2.