

05.16.04

К 583

Челябинский государственный технический университет

На правах рукописи

КОЖЕВНИКОВ Юрий Андреевич

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК В ФОРМАХ
С ЛЕГКОИЗВЛЕКАЕМЫМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ СТЕРЖНЯМИ

Специальность

05.16.04 - Литейное производство

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Челябинск, 1990

Работа выполнена на кафедре литейного производства Челябинского государственного технического университета.

Научный руководитель — доктор технических наук,
профессор В.М. АЛЕКСАНДРОВ

Официальные оппоненты — доктор технических наук,
и.о. профессора Р.А. СИДОРЕНКО,
кандидат технических наук,
доцент Л.С. ВОЛКОВИЧЕР

Ведущее предприятие — Челябинский металлургический комбинат.

Защита состоится "27" XII 1990 г. в 15 час. 00 мин.
на заседании специализированного совета К.053.13.06 Челябинского
государственного технического университета.

Ваш отзыв в двух экземплярах, заверенный гербовой печатью,
просим направлять по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76,
ЧГТУ, Ученый Совет университета, тел. 39-91-23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЧГТУ.

Автореферат разослан "24" XI 1990 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
К.053.13.06,
кандидат технических наук,
доцент



Б.Э. Ключкин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В металлургической промышленности, машиностроении и автомобилестроении значительно возросла потребность в крупных и средних отливках с внутренними полостями, не имеющими поднутрений, из различных сплавов.

В настоящее время для получения таких отливок широко используются разовые песчано-глинистые формы. Этот способ характеризует простота и надежность, однако в среднем на одну тонну годных отливок тратится 3-6 т формовочной смеси, 100-300 кг шлаков, 1000-1800 м³ газа, что приводит к тяжелой экологической ситуации в литейных цехах и к использованию тяжелого низкоквалифицированного ручного труда. Особенно остро эти вопросы стоят при изготовлении сталеразливочных изложниц.

Получение отливок этого типа в металлических формах, не нашло до настоящего времени широкого применения, а использование металлических стержней, особенно для крупных отливок, даже единичных экспериментов не было, что объясняется рядом трудностей. Основными препятствиями для использования металлических стержней являются большие усилия при извлечении, обусловленные обжатием его отливкой во время усадки, и образование в них горячих трещин из-за затрудненной усадки. Имеющиеся в литературе данные по этому вопросу относятся зачастую к конкретному типу отливок и не учитывают общих закономерностей процесса температурно-деформационного взаимодействия между отливкой и металлическим стержнем.

Учитывая постоянно возрастающую потребность в сталеразливочных изложницах и аналогичных им отливках, проведение работ по использованию для их получения постоянных форм с металлическими стержнями является весьма актуальной.

Работа выполнена в соответствии с координационным планом НИР АН СССР на 1981-1985, 1986-1990 годы по решению проблемы 2.25.1.5 (процессы литья), задания 02.01.01 и 02.01.02.

Цель работы. Изучение процессов, протекающих при температурно-деформационном взаимодействии отливки с металлическим стержнем, и разработка технологии изготовления отливок в формах с легкоизвлекаемыми металлическими стержнями.

Для достижения указанной цели в работе были поставлены следующие задачи:

- разработать теоретические принципы получения отливок в формах с металлическими легкоизвлекаемыми стержнями;
- изучить dilatометрические характеристики наиболее распространенных литейных сплавов, а также сплавов для легкоизвлекаемых стержней;
- исследовать термическую стойкость разработанных стержневых сплавов;
- экспериментально проверить и изучить теоретические принципы получения отливок в формах с легкоизвлекаемыми металлическими стержнями;
- разработать и освоить в производстве технологический процесс получения чугунных отливок в формах с легкоизвлекаемыми металлическими стержнями.

Научная новизна. Аналитическим путем выведены критерии легкого извлечения и условия формирования зазора между отливкой и стержнем в зависимости от различных технологических параметров. Получены критериальные уравнения для расчета температур максимального прогрева, а также интервала температур при принудительном охлаждении стержня, обеспечивающих свободное извлечение стержня из отливки.

На основе теоретического анализа температурно-деформационного взаимодействия отливки со стержнем разработаны теоретические принципы предупреждения горячих трещин в отливках, получаемых в формах с металлическими стержнями. Исходя из этих принципов и уравнения теплового баланса, получены формулы для расчета критической массы стержня, гарантирующей получение отливок без трещин, с учетом таких технологических факторов как температура заливки сплава и начальная температура стержня.

Установлено влияние температуры нагрева и химического состава чугуна на величину предусадочного расширения. Экспериментально подтверждено влияние величины предусадочного расширения на коэффициент локализации деформаций.

Определены требования, которым должен удовлетворять сплав для изготовления стержней. Дана количественная оценка термостойкости стержневых сплавов. Термодинамическими расчетами обосновано и экспериментально подтверждено положительное влияние на термостойкость легирование стержневой стали хромом и молибденом. Произведен выбор стали для изготовления стержней, отвечающей разработанным требованиям.

Практическая ценность работы. На основании проведенных исследований разработан алгоритм расчета конструкции легкоизвлекаемого стержня. Определены составы стержневых сплавов как для отливок из чугуна и стали, так и для отливок из алюминиевых сплавов.

Разработана технология изготовления отливок в формах с легкоизвлекаемыми металлическими стержнями.

Реализация работы. Разработанная технология изготовления изложниц в формах с легкоизвлекаемыми стержнями прошла опытно-промышленные испытания на Челябинском металлургическом комбинате, ожидаемый экономический эффект составит 73,8 тыс.руб. Экономический эффект от внедрения техпроцесса изготовления отливки тормозного барабана в кокиль с легкоизвлекаемым стержнем составил 29 тыс.руб.

Апробация работы. Материалы диссертации были доложены и обсуждены на XIII научно-технической конференции литейщиков Западного Урала, Пермь, 1984; Уральской научно-технической конференции "Новые металло- и трудосберегающие технологические процессы в литейном производстве", Челябинск, 1984; зональной конференции "Современное оборудование и технология плавки, выпечной обработки и заливки чугуна", Пенза, 1985; научно-технической конференции "Производство литых заготовок повышенной точности и малой трудоемкости", Свердловск, 1986; научно-техническом совещании "Повышение производительности труда, экономии материальных и энергетических ресурсов в литейном производстве", Барнаул, 1986; межреспубликанском научно-практическом семинаре литейщиков "Современные технологические процессы получения высококачественных отливок, повышение стойкости литейной оснастки и режущего инструмента", Чебоксары, 1987; научно-технической конференции "Прогрессивные технологии производства литых заготовок", Челябинск, 1988; региональном научно-техническом совещании "Повышение эффективности литейного производства", Омск, 1989.

Публикация. По теме диссертации опубликовано 13 статей и получено 2 авторских свидетельства СССР.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, основных выводов, списка литературы, включающем 172 наименования, и 3 приложений; содержит 130 страниц машинописного текста, 35 таблиц, 63 рисунка.

Основные положения, представляемые к защите.

1. Теоретические принципы получения отливок в формах с легкоизвлекаемыми металлическими стержнями.
2. Результаты исследования dilatометрических характеристик различных сплавов и выбор на их основе сплавов для стержней.
3. Результаты исследований термической и термо-химической стойкости стержневых сплавов и выбор на этой основе сплавов для изготовления стержней.
4. Установленные закономерности влияния технологических факторов на трещиностойкость отливок. Разработанный с учетом этого алгоритм расчета конструкции легкоизвлекаемых стержней.
5. Технологию изготовления отливок в формах с легкоизвлекаемыми металлическими стержнями.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

При анализе способов, позволяющих облегчить удаление металлических стержней, авторы большинства работ основное внимание уделяли, особенно в случае изготовления крупных отливок, удалению стержня сразу после образования в отливке тонкой корочки, способной сохранить приданную ей форму и выдержать гидростатическое давление оставшегося жидкого металла. Вместе с тем не учитывались общие закономерности температурно-деформационного взаимодействия отливки и стержня, что не позволило также достаточно полно раскрыть влияние стержня на процесс трещинообразования в отливке. Это было вызвано тем, что используемые до настоящего времени стержни, должны были иметь минимальное расширение и, соответственно, усадку.

Изучение температурно-деформационного взаимодействия отливки и стержня в период кристаллизации и охлаждения отливки, позволило разработать теоретические принципы легкого извлечения стержней из отливок, а также аналитически решить условия получения отливок без трещин.

Разработка теоретических принципов получения отливок в формах с легкоизвлекаемыми металлическими стержнями

Очевидно, что стержень легко извлечется из отливки при наличии между ними зазора. Если стержень имеет идеально гладкую поверхность, то для обеспечения легкого извлечения его достаточно сколь угодно малого зазора. Наличие же на поверхности

стержня каких-либо выступов с высотой Z , например, шероховатости после механической обработки, может затруднить его извлечение, так как выступы на поверхности стержня могут не выйти полностью из образующихся в отливке впадин. Из анализа условий легкого извлечения стержня было получено уравнение для расчета критериальной величины зазора (L_3^*).

$$L_3^* = Z \cdot \cos \beta, \quad (1)$$

где β - угол литейного уклона стержня, град.

Зазор между отливкой и стержнем может образоваться в том случае, если стержень в процессе охлаждения уменьшит свои размеры больше, чем отливка. В простейшем случае, когда в материале отливки и стержня в период их совместного охлаждения, отсутствуют какие-либо фазовые превращения, величину зазора можно определить из следующего выражения

$$L_3 = \alpha_2 \cdot \Delta T_2 \cdot \ell - \alpha_1 \cdot \Delta T_1 \cdot \ell, \quad (2)$$

где α_1, α_2 - температурные коэффициенты линейной усадки (ТКУ), соответственно, материала отливки и стержня, $1/K$;

$\Delta T_1, \Delta T_2$ - температурные интервалы охлаждения, соответственно, отливки и стержня, K ;

ℓ - размер от поверхности контакта отливки со стержнем до их геометрической осн, м.

Анализ этого выражения показал, что для того, чтобы обеспечить получение $L_3 > 0$ необходимо соблюдать следующее условие:

$$\frac{\alpha_2 \cdot \Delta T_2 \cdot \ell}{\alpha_1 \cdot \Delta T_1 \cdot \ell} > 1. \quad (3)$$

Это неравенство может быть обеспечено за счет сохранения соотношений, которые характеризуют два вида формирования зазора

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} > 1 \quad (\text{при } \Delta T_2 = \Delta T_1) \quad (4)$$

или

$$\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} > 1 \quad (\text{при } \alpha_2 \approx \alpha_1). \quad (5)$$

Наличие в материале отливки фазового превращения (например, у чугуна) необходимо учитывать при расчете зазора

$$L_3 = \alpha_2 \cdot \Delta T_2 \cdot \ell - \alpha_1^{\gamma} \cdot \Delta T_1^{\gamma} \cdot \ell + \epsilon_1 \cdot \ell - \alpha_1^{\alpha} \cdot \Delta T_1^{\alpha} \cdot \ell, \quad (6)$$

где $\Delta T_1^{\gamma}, \Delta T_1^{\alpha}$ - температурные интервалы охлаждения отливки, соответственно, в γ - и α -областях, K ;

ϵ_1 - относительное изменение размеров отливки при фазовом превращении, ед.

Дальнейший анализ условий формирования зазора между отливкой и стержнем показал, что на его величину влияет величина литейного уклона стержня, а также каким образом стержень установлен в форме (уклоном вверх или наоборот). С учетом этих условий выражения (2) и (3) приобрели следующий вид:

$$L_z = (\alpha_2 \cdot \Delta T_2 - \alpha_1 \cdot \Delta T) \cdot (1 \pm n \cdot \operatorname{tg} \beta) \cdot e, \quad (7)$$

$$L_z = (\alpha_2 \cdot \Delta T_2 - \alpha_1^* \cdot \Delta T_1^* + \epsilon_1 - \alpha_1^* \cdot \Delta T_1^*) \cdot (1 \pm n \cdot \operatorname{tg} \beta) \cdot e, \quad (8)$$

где $n = H/e$, H - высота отливки (стержня), м.

При всех прочих равных условиях зазор между отливкой и стержнем увеличивается, когда его перемещение, вследствие усадки, происходит в сторону большего размера и уменьшается при обратном направлении усадки.

Из выражений (7) и (8) с учетом (I) были получены уравнения для расчета критической температуры максимального прогрева стержня (9) и (10) при его совместном охлаждении с отливкой и критического температурного интервала (II) стержня при его принудительном охлаждении

$$T_{\max,2}^* = \frac{\epsilon \cdot \cos \beta}{\alpha_2 \cdot e \cdot (1 \pm n \operatorname{tg} \beta)} + T_{0,2} + \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \cdot (T_{\max,1} - T_{0,1}), \quad (9)$$

$$T_{\max,2}^* = \frac{1}{\alpha_2} \left[\frac{\epsilon \cdot \cos \beta}{e \cdot (1 \pm n \operatorname{tg} \beta)} + \alpha_2 \cdot T_{0,2} + \alpha_1^* \cdot (T_{\max,1} - T_{\text{кп},1}) - \epsilon_1 + \alpha_1^* \cdot (T_{\text{кп},1} - T_{0,1}) \right], \quad (10)$$

$$\Delta T_2^* = \frac{\epsilon \cdot \cos \beta}{\alpha_2 \cdot e \cdot (1 \pm n \operatorname{tg} \beta)} + \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \cdot \Delta T_1, \quad (11)$$

где $T_{\max,2}$ - температура максимального прогрева стержня, К;
 $T_{\text{кп},1}$, $T_{0,1}$ - температуры, соответствующие началу и концу фазового превращения в материале отливки, К.

Таким образом, для достижения легкого извлечения стержня необходимо обеспечить на практике, чтобы фактические значения $T_{\max,2}$ и ΔT_2 были не меньше рассчитанных критериальных значений $T_{\max,2}^*$ и ΔT_2^* .

При анализе условий получения отливок без трещин, использовал наиболее признанную в настоящее время теорию трещинообразования в отливках. Согласно этой теории для предупреждения трещин в отливках коэффициент локализации деформации $\eta(T)$ должен быть всегда ниже запаса технологической прочности $\mathcal{U}(T)$, т.е.

$$m(T_1) < \mu(T_1) = \frac{\sigma_e(T)}{\sigma^0(T)}, \quad (12)$$

где $\sigma_e(T)$ - предел прочности сплава при температуре T ;

$\sigma^0(T)$ - напряжения, возникающие в отливке при охлаждении до температуры T , в условиях полного торможения усадки.

Коэффициент локализации деформации можно представить как

$$m(T_1) = \frac{\epsilon(T_1)}{\sigma_{св}(T_1)} = \frac{\epsilon(T_1)}{\epsilon^0(T_1)}, \quad (13)$$

где $\epsilon(T_1)$ - полная деформация отливки;

$\epsilon_{св}(T_1)$ - деформация отливки, равная свободной усадке, которая служит мерой деформационной способности материала $\epsilon^0(T_1)$, так как при $\epsilon(T_1) = \epsilon^0(T_1)$

$$m(T) = 1 \text{ и, следовательно, меньше } \mu(T) = \frac{\sigma_e(T)}{\sigma^0(T)}.$$

Для дальнейшего выяснения условий, обеспечивающих получение отливок без трещин, был проведен теоретический анализ возможных схем температурной деформации стержня и отливки в период их совместного охлаждения. При этом для удобства в качестве анализируемого параметра была принята деформация ϵ . На рис. 1 приведены возможные температурно-деформационные схемы отливки и стержня. Продолжительность охлаждения отливки условно разделили на три периода: первый - от 0 до T_0 , второй - от T_0 до T_{max} и третий - от T_{max} до T_0 , где T_0 , T_{max} и T_0 - моменты времени, которые соответствуют температурам нулевой жидкотекучести сплава отливки, максимального прогрева стержня и выбивки стержня. Из рисунка видно, что при охлаждении сплава отливки от температуры заливки (T_3) до температуры нулевой жидкотекучести (T_0) ее размеры на поверхности контакта совпадают с размерами стержня (кривые 3 и 4 до т. 0). В этом температурном интервале трещины не образуются, так как еще сохраняется достаточная подвижность сплава. Охлаждение сплава ниже температуры нулевой жидкотекучести вызывает естественную температурную деформацию отливки (усадку или расширение).

В зависимости от величины усадки и предусадочного расширения отливки ($\epsilon_{пр.р.}$) возможны четыре наиболее характерные схемы качественного изменения ее фактической деформации.

При отсутствии предусадочного расширения сплава отливки ($\epsilon_{пр.р.} = 0$), температура нулевой жидкотекучести T_0 совпадает с температурой начала усадки $T_{н.у.}$. Теоретически ее усадка дол-

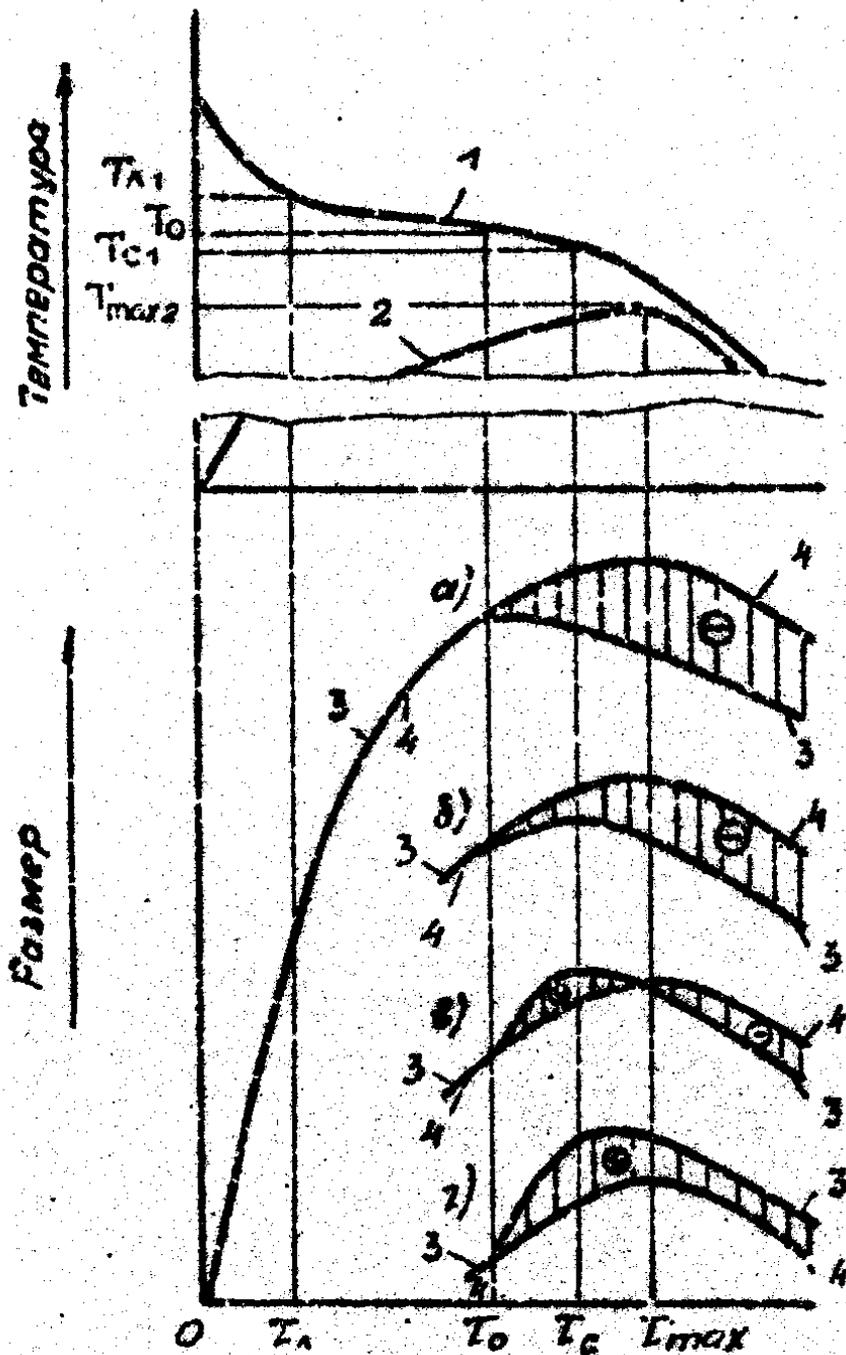


Рис. I

жна протекать по кривой 3 (рис. I), однако "абсолютная" неподатливость стержня вызывает деформацию отливки до его размеров (кривая 4). Вынужденная деформация отливки в этом случае приобретает значение, превышающее свободную усадку на величину расширения стержня ($\delta(T) = \epsilon_{\text{св}}(T) + \epsilon_2(T)$). Из выражения (13), с учетом сказанного, видно, что при использовании неразъемных металлических стержней степень локализации деформации всегда больше I. Этим объясняется низкая трещиностойкость отливок из сплавов, не имеющих предсудочного расширения.

Если материал отливки имеет заметное предсудочное расширение, изменение величины фактической деформации отливки необходимо рассматривать в два этапа: первый — включает деформацию в период протекания предсудочного расширения, второй — деформацию в период линейной усадки отливки.

На первом этапе ($T_0 - T_C$) (от температуры начала деформации (T_0) до температуры начала линейной усадки, которая здесь совпадает с температурой солидус (T_C), деформация складывается из расширения стержня за вычетом предсудочного расширения отливки $\epsilon_{\text{пр.р.}}$, то есть

$$\epsilon(T) = \epsilon_2(T) - \epsilon_{\text{пр.р.}}(T). \quad (14)$$

Из (I3) и (I4) следует, что на этом этапе

$$m(T) = \frac{\epsilon_2(T) - \epsilon_{\text{пр.р.}}(T)}{\epsilon^0(T)}. \quad (\text{I5})$$

В зависимости от величины предусадочного расширения возможны три схемы деформации отливки и стержня.

На втором этапе ($T_c - T_{\text{max}}$), при охлаждении отливки ниже температуры начала линейной усадки, относительная деформация отливки увеличивается на величину, равную относительной линейной усадке $\epsilon_{\text{Л.1}}(T)$.

$$\epsilon(T) = \epsilon_2(T) - \epsilon_{\text{пр.р.}}(T) + \epsilon_{\text{Л.1}}(T), \quad (\text{I6})$$

$$m(T) = \frac{\epsilon_2(T) - \epsilon_{\text{пр.р.}}(T) + \epsilon_{\text{Л.1}}(T)}{\epsilon^0(T)}. \quad (\text{I7})$$

В зависимости от значений $\epsilon_2(T)$, $\epsilon_{\text{пр.р.}}(T)$ и $\epsilon_{\text{Л.1}}(T)$, возможно две схемы. Если $\epsilon_2(T) + \epsilon_{\text{Л.1}}(T) > \epsilon_{\text{пр.р.}}(T)$, что соответствует схемам б и в, вероятность трещинообразования зависит от конкретного соотношения указанного неравенства, так как $m(T)$ может быть и меньше и больше $U(T)$.

Если $\epsilon_2(T) + \epsilon_{\text{Л.1}}(T) < \epsilon_{\text{пр.р.}}(T)$, то в этом случае $m(T) < 0$ и вероятность образования трещин в отливке отсутствует.

Таким образом, видно, что на характер деформации отливки существенное влияние оказывает природа заливаемого сплава и свойства стержня.

Вместе с тем из анализа выражений (I3-I7) хорошо просматривается общая закономерность, заключающаяся в следующем. Если стержень прогревается до максимальной температуры (T_{max}) раньше, чем отливка достигает температуры начала деформации (T_0), что соответствует на схемах т. 0, то есть $T_{\text{max}} < T_0$, трещины в последней образоваться не могут. Величина вынужденной деформации отливки в этом случае равна 0 во всем интервале охлаждения отливки.

Для обеспечения полученных условий необходимо использовать стержни с определенной массой, которая позволит им прогреваться по заданному режиму. На основе уравнения теплового баланса с учетом разработанных условий получения отливок без трещин были получены уравнения для расчета критического соотношения масс отливки и стержня.

В результате теоретического анализа температурно-деформационного взаимодействия отливки и стержня были получены уравне-

ния, которые позволяют рассчитать конструкцию легкоизвлекаемых металлических стержней и выбрать оптимальные технологические параметры, обеспечивающие получение качественных отливок.

Исследование дилатометрических характеристик сплавов

Теоретический анализ показал, какую значимость имеет предусадочное расширение сплавов для повышения трещиностойкости отливок. Для выявления влияния химического состава чугунов на величину предусадочного расширения по известной методике были исследованы чугуны с содержанием углерода в пределах 3,8...4,15%, степень эвтектичности которых равнялась 1,019...1,177. Было установлено, что величина предусадочного расширения у исследованных чугунов меняется в пределах 0,106...0,203% или в 1,9 раза. Причем эти зависимости имеют экстремальный характер с минимумом при содержании углерода в пределах 3,9...4,15% или при $S_e = 1,05$.

Изучение влияния на величину предусадочного расширения модифицирования чугуна алюминием показало, что с увеличением введенного алюминия до 1% предусадочное расширение увеличивается с 0,21% до 0,31% и имеет максимальное значение, а затем происходит его резкое снижение, а при 2% введенного алюминия оно равно 0,09%.

По специально разработанной методике было изучено влияние температуры нагрева жидкого чугуна на величину предусадочного расширения. Установлено, что предусадочное расширение уменьшается с повышением температуры расплава и составляет минимум вблизи температур 1700°C.

Для выбора сплава, из которого можно изготавливать легкоизвлекаемые стержни, были исследованы температурные коэффициенты расширения и усадки различных сталей и алюминиевых сплавов, которые изучались на дилатометре ДКВ-5А. Установлено, что стали, имеющие аустенитную структуру, обладают наиболее высокими коэффициентами линейной усадки и расширения. Наиболее простыми по своему составу являются низкоуглеродистые стали, легированные марганцем ($> 15\%$) и никелем ($> 3,9\%$), кроме того, эти стали обладают наиболее высокими значениями коэффициентов усадки, средняя величина которых равняется $20,87 \cdot 10^{-6} \dots 20,95 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ в температурном интервале 900-200°C.

В качестве стержневых сплавов для изготовления отливок из алюминиевых сплавов, исследовали сплав первичного алюминия с марганцем АМц, который обладает высокой коррозионной стойкостью.

пластичностью, хорошей свариваемостью и довольно высокой прочностью. Кроме того, сплавы этой группы обладают повышенной температурой плавления. Анализ результатов показал, что наиболее оптимальным является введение марганца в алюминий в пределах 1...5%. Именно в этих пределах сплавы обладают максимальными значениями средних коэффициентов расширения и усадки $24,72 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ и $25,65 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$. Использование этих сплавов в качестве стержневых обеспечивает получение легкого извлечения стержней из отливок.

Исследование термической стойкости стержневых сплавов

Анализ dilatометрических характеристик позволил выбрать стали для изготовления стержней. С целью выбора сплава с наибольшей термостойкостью были проведены испытания по специально разработанной методике. Образцы, выполненные в виде полого цилиндра с прорезью по образующей, помещали в предварительно нагретую до $1700 \pm 50^\circ\text{C}$ печь Таммана. После выдержки в течение 90 с, образец опускали в емкость с проточной водой. За характеристику термостойкости была принята величина относительной размерной стойкости материала, которая выражалась отношением изменения длины наружной дуги зазора к первоначальной длине внешней окружности образца.

Для сравнения термостойкости стержневых сталей с углеродистыми, последние были испытаны при содержании в них углерода в пределах 0,08...0,45%.

Как показали испытания, лучшей относительной стойкостью обладают образцы из углеродистой стали с содержанием $C = 0,08\%$. Эта сталь была выбрана в качестве эталонной при испытаниях стержневых сталей. Установлено, что относительной размерной стойкостью, сравнимой со стойкостью низкоуглеродистых сталей обладают стали следующего химического состава: 13...14% Mn; 5...7% Ni; 0,3...0,5% Si; $< 0,15\%$ C. При опытно-промышленных испытаниях стержней, изготовленных из такой стали (0,07% C; 14,38% Mn; 7,65% Ni; 1,06% Si; 0,006% S; 0,012% P) на них была обнаружена сетка трещин после седьмой заливки. После девяти заливок из стержня и литой пробы были вырезаны темплеты для проведения химического и металлографического анализа. Исследования качественного химического состава в зонах термических трещин в стержне и в дефектных зонах пробы проводили на рентгеноструктурном микроанализаторе РЭМ-100У. Установлено, что зоны трещин в стержнях и дефектов, найденных в пробе, насыщены оксидами таких элементов, как *Al*.

Ti, Ca, Si . Из этого предположили; что концентрация оксидов этих элементов приводит к образованию литейных дефектов типа плен и пор, которые являются концентраторами напряжений и способствуют зарождению термических трещин.

Кроме того, было выявлено резкое падение концентрации Mn и Ni в металле стержня с рабочей стороны. Металлографический анализ выявил измененный структурный слой со стороны рабочей поверхности, состоящий из перлита с редкими участками аустенита, пористой границы из оксидов и области с вытравленными границами зерен аустенита, вдоль которых проявился перлит.

Термодинамическими расчетами изменения потенциала Гиббса (ΔG_T°) определена вероятность и направление протекания реакций в системах $Me-CO$ при стандартном давлении в интервале температур $723-1023^\circ C$. Показано, что при данных температурах возможно образование карбониллов Mn и Ni . Установлено, что вероятность взаимодействия Cr с CO с образованием оксидов значительно выше чем у остальных реакций. Экспериментально подтверждено положительное влияние дополнительного легирования стержневой стали хромом и молибденом.

Экспериментальная проверка разработанных принципов использования легкоизвлекаемых стержней

На отливках из различных сплавов (сталь, чугун, АЛ2) экспериментально подтверждены теоретически разработанные принципы легкого извлечения. Показано, что если расчетные значения T_{max}^* или ΔT_2^* были меньше практических T_{max} или ΔT_2 , происходило свободное извлечение стержней из отливок.

Подтверждено положительное влияние модифицирования чугуна алюминием на трещиностойкость отливки. Установлено оптимальное количество вводимого алюминия - 0,5-1,0%.

Практически, на отливках в виде полого цилиндра из чугуна доменной плавки показана связь критического соотношения масс отливки и стержня (M_1/M_2^*) с технологическими параметрами процесса и свойствами сплава. Из рис. 2 видно, что величина M_1/M_2^* (сплошная основная линия) значительно зависит от температуры предварительного нагрева стержня и изменяется при увеличении температуры с $50^\circ C$ до $200^\circ C$ более чем на единицу. Сглаживание влияния температуры жидкого чугуна объясняется связью этого параметра с величиной предусадочного расширения, которая умень-

вость значительно выше, чем у аналогичных чугунов с содержанием углерода 3,81...3,93%.

Сравнение температурных режимов отливок и стержней, полученных в формах с предварительной сушкой и без нее показало, что в последнем случае скорость кристаллизации выше. Если кристаллизации нижних сечений отливок в обоих случаях заканчивалась к 22 мин, то верхние части закристаллизовались, соответственно, через 38 мин и 28 мин в сухой и в сырой формах.

Изучено влияние на трещиностойчивость вида используемой противопригарной краски. Установлено, что использование однослойного коксографитового покрытия резко снижает трещиностойчивость отливок.

Сравнительные испытания изложниц, полученных по традиционной и разработанной технологиям, показали, что они имели примерно равную стойкость (15-17 наливов). При этом происходит существенное сокращение более чем в 2,5 раза расхода газа и сжатого воздуха, отпадает необходимость таких операций как гидровывивка стержня и ручная зачистка внутренней поверхности изложниц.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Проведенный теоретический анализ температурно-усадочных изменений, протекающих в отливке и стержне, показал, что зазор между ними образуется при выполнении одного из двух условий

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} > 1 \quad \text{при } \Delta T_2 = \Delta T_1$$

или

$$\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} > 1 \quad \text{при } \alpha_2 \gg \alpha_1$$

Легкое извлечение стержня обеспечивается при выполнении, аналитически полученных критериальных условий, в которых учтено влияние литейного уклона, а также наличие на поверхности стержня выступов и впадин.

2. Из анализа температурно-деформационного взаимодействия отливки со стержнем получена общая для всех сплавов закономерность, заключающаяся в следующем. Если стержень прогревается до максимальной температуры раньше, чем отливка достигает температуры начала деформации (усадки), трещины в последней образоваться не могут. Наличие в материале отливки предусадочного расширения позволяет сместить момент максимального прогрева стержня, относительно температуры начала деформации (усадки) в

сторону меньших температур. Получены математические выражения, позволяющие рассчитать критерияльное соотношение масс отливки и стержня с учетом всех технологических параметров процесса, обеспечивающие получение отливок без трещин.

3. Установлено, что величина предусадочного расширения чугунов с эвтектичностью 1,019...1,117 ($C = 3,8\% \dots 4,45\%$) зависит от химического состава и изменяется в пределах 0,106%... 0,203% или в 1,9 раза. Эта зависимость имеет экстремальный характер минимум которой приходится на $S_p = 1,05$ ($C = 4\%$). На величину предусадочного расширения пердедельного чугуна влияет алюминий. С введением алюминия в пределах до 1% величина предусадочного расширения изменяется от 0,21% до 0,31%. При дальнейшем увеличении алюминия предусадочное расширение уменьшается и при 2% Al достигает значения, равного 0,09%.

4. Разработана методика для исследования влияния температуры нагрева чугуна на величину его предусадочного расширения. Установлено, что она уменьшается с повышением температуры расплава. Так повышение температуры литейного чугуна с 1280°C до 1700°C вызывает уменьшение предусадочного расширения с 0,45% до 0,05%, а пердедельного чугуна с 1320°C до 1700°C - с 0,27% до 0,02%.

5. Разработана методика для определения относительной размерной устойчивости образцов из различных сталей при термоциклировании. Установлено, что стали с содержанием $C = 0,15\%$; $Mn = 13 \dots 14\%$; $Ni = 5 \dots 7\%$ приближаются по стойкости к низкоуглеродистым сталям, широко используемым в качестве материала для ковшей.

6. Установлено, что зоны литых дефектов в стержневой стали (0,07% C ; 14,38% Mn ; 7,65% Ni ; 1,04% Si), выявленных до эксплуатации, и термических трещин, обнаруженных после эксплуатации, насыщены оксидами Al , Ti , Ca и Si . Определено, что при эксплуатации стержня из данной стали со стороны рабочей поверхности возникает измененный структурный слой, который имеет отличные от исходных структур химический состав и физические характеристики. Наиболее эффективной мерой предотвращения данного дефекта является дополнительное легирование стержневой стали хромом и молибденом, а также использование промежуточного защитного слоя краски, не содержащей в своем составе углерод.

7. Экспериментально на отливках из различных сплавов подтверждены теоретически разработанные принципы и критерии лег-

кого извлечения стержней при естественном и принудительном их охлаждении.

8. На различных пробах подтверждена связь между величиной предусадочного расширения и степенью локализации деформаций. Определено оптимальное количество алюминия (0,5...1,0%), используемого в качестве модификатора. Установлено, что модифицирование чугуна алюминием повышает трещиностойчивость отливки за счет повышения величины предусадочного расширения и увеличения теплоты, выделяемой при кристаллизации, что вызвано увеличением свободного графита в чугуне.

9. На основе теоретических и экспериментальных исследований разработан алгоритм расчета конструкции легкоизвлекаемых металлических стержней с учетом технологических параметров, задаваемых в зависимости от конкретных условий производства.

10. Комплексом опытно-промышленных испытаний показано, что разработанная технология позволяет получать качественные отливки различного типоразмера из чугуна, стали и алюминиевых сплавов. Технология принята к освоению на Челябинском металлургическом комбинате. Ожидаемый экономический эффект составит 73,8 тыс. руб. Технология изготовления отливки тормозного барабана в кокшль с легкоизвлекаемым стержнем передана Канбадамскому заводу "Автозапчасть". Экономический эффект - 29,05 тыс. руб.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Кожевников Ю.А., Каркарип А.М. Исследование влияния металлического стержня на образование горячих трещин // Вопросы теории и технологии литейных процессов: Темат. сб. науч. тр. / Под ред. В.М. Александрова. - Челябинск: ЧПИ, 1983. - С. 94-97.

2. Кожевников Ю.А., Швецов В.И. Использование металлических стержней для получения полых отливок из различных сплавов // Современные методы производства отливок, способствующие экономии материалов...: Тез. докл. научно-техн. конференции. - Пермь: ПИИ, 1984. - С. 70-71.

3. Кожевников Ю.А., Швецов В.И. Исследование возможности предотвращения трещинообразования в стальных отливках при использовании металлического стержня // Новые металло- и трудосберегающие технологические процессы в литейном производстве: Тез. докл. научно-техн. семинара. - Челябинск: ЧПИ, 1984. - С. 32-33.

4. Иоговский В.А., Кожевников Ю.А., Швецов В.И. Методика

определения термостойкости материалов для изготовления кокилей// Новые металло- и трудосберегающие технологические процессы в литейном производстве: Тез. докл. научно-технич. семинара. - Челябинск: ЧПИ, 1984. - С. 34-35.

5. Александров В.М., Швецов В.И., Кожевников Ю.А., Чернявский И.Я. Снижение металлоемкости чугунных отливок при использовании легкоизвлекаемых металлических стержней// Современное оборудование и технология плавки, внепечной обработки и заливки чугуна: Тез. докл. научно-техн. конференции. - Пенза, 1985. - С. 48-49.

6. Кожевников Ю.А., Александров В.М., Швецов В.И., Ахмедзянов И.Р. Получение чугунных отливок в металлических формах// Производство литых заготовок повышенной точности и малой трудоемкости: Тез. докл. научно-техн. конференции. - Свердловск, 1986. - С. 59-60.

7. Кожевников Ю.А., Швецов В.И., Александров В.М., Снитко Е.К., Сапрыкин И.И. Способы легкого извлечения металлических стержней из алюминиевых отливок// Повышение производительности труда, экономия материальных и энергетических ресурсов в литейном производстве: Тез. докл. научно-техн. совещания. - Барнаул, 1986. - С. III-III2.

8. Дробах Г.А., Кожевников Ю.А., Швецов В.И., Иоговский В.А. Определение термостойкости материалов для кокилей// Современные технологические процессы получения высококачественных отливок...: Тез. докл. межреспубликанского научно-практич. семинара. - Чебоксары, 1987. - С. 54-55.

9. Швецов В.И., Александров В.М., Кожевников Ю.А. Получение отливок с легкоизвлекаемыми стержнями. М., 1987. Деп. во ВНИИТЭМР, № 514, МШ 87. - 7 с.

10. Иоговский В.А., Швецов В.И., Дробах Г.А., Кожевников Ю.А., Каркарян А.М. Двухстороннее кокилирование крупных стальных отливок// Прогрессивные технологии производства литых заготовок: Тез. докл. научно-техн. конф. - Челябинск, 1983. - С. 59-60.

11. Швецов В.И., Кожевников Ю.А., Потысьев В.М., Лешукова И.А. Экономически целесообразная стоимость легкоизвлекаемых металлических стержней// Экономия металла при конструировании и производстве отливок: Межвуз. сб. научн. тр. - Пенза: ППИ, 1986. - Вып. 2. - С. 36-37.

12. Кожевников Ю.А., Швецов В.И., Сапрыкин И.И., Александров В.М., Швабауэр В.И. Влияние предусадочного расширения на трещиностойкость чугунных отливок// Повышение эффективности

литейного производства: Тез. докл. научно-технич. конференции. - Омск, 1989. - С. 31.

13. Кожевников Ю.А., Швецов В.И., Александров В.М. Повышение трещиностойкости отливок при использовании металлических стержней//Литейное производство. - 1990. - № 3. - С. 10-12.

14. А.с. 1447562 СССР, МКИ В 22 27/04. Способ изготовления изложниц/ Ю.А.Кожевников, В.И.Швецов, В.М.Александров и др. (СССР)//Открытия. Изобретения. - 1988. - № 48.

15. А.с. 1437141 СССР, МКИ В 22 27/06. Прибыль/В.И.Швецов, А.М.Каркарян, ..., Ю.А.Кожевников и др. (СССР)//Открытия. Изобретения. - 1988. - № 12.

