М290556

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

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

На правах рукописи

Зеленов Валерий Николаевич

ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ СПЛАВОВ В ТВЕРДО-ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ОТЛИВОК

Специальность №:05.16.04 - литейное производство

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук.

Москва - 1976г.

Работа выполнена в МВТУ им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель: кандидат технических наук
доцент Л.Е.Кисиленко.

Официальные оппоненты: доктор технических наук профессор
Л.С.Константинов,

кандидат технических наук, старший научный
сотрудник В.Я.Невзоров.

Ведущее предприятие: Автомобильный завод им.Лихачева (ЗИЛ).

Защита состоится "___" _____1976г. в ____ часов на заседании специализированного Совета _____

Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища имени Н.Э.Баумана по адресу: г. Москва I07005, 2-я Бауманская, 5.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просим высылать по указанному адресу.

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

Ав[illegible] 1976г.

[illegible]ГО СОВЕТА
[illegible]ссор

Степанов Ю.А.

ДМ 290556

У. Зак.I225. Тир.I00

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ. Решения 25-го съезда КПСС направлены на значительное улучшение качества продукции и повышение эффективности производства.

В работе изучаются возможности повышения герметичности отливок из алюминиевых сплавов, получаемых литьем под давлением.

В номенклатуре отливок из алюминиевых сплавов, получаемых литьем под давлением, увеличивается доля отливок ответственного назначения, проходящих испытания на герметичность. К таким отливкам относятся блоки цилиндров и другие корпусные детали двигателей автомобилей, получаемых на Заволжском моторном заводе, АЗЛК, КАМАЗе.

Методы повышения герметичности отливок, получаемых литьем под давлением, изучены в настоящее время недостаточно и повышение герметичности отливок на основе дальнейшего изучения таких методов является актуальной задачей.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Целью работы является определение возможности повышения герметичности отливок, получаемых литьем под давлением из алюминиевых сплавов.

В соответствии с целью работы были поставлены следующие задачи:

1. Исследовать аналитически и экспериментально влияние основных технологических параметров на усадочные процессы в отливке, связанные с формированием герметичности.

2. Исследовать влияние количества твердой фазы в расплаве и давления прессования на герметичность отливок.

3. Исследовать механизм течения и остановки твердо-жидкого расплава при движении по каналу пробы на жидкотекучесть.

4. Исследовать влияние основных технологических параметров на заполняемость форм твердо-жидким сплавом при литье под давлением.

5. Исследовать возможности заполнения твердо-жидким сплавом форм сложной конфигурации при литье корпусных деталей из алюминиевых сплавов для повышения их герметичности.

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ. В работе использовались аналитические и экспериментальные методы исследования.

Аналитически исследовалось влияние основных технологических параметров на усадочные процессы в отливке, связанные с формированием герметичности. Экспериментальные исследования связи технологических параметров с герметичностью проводились в Литейной лаборатории МВТУ на отливках "Пластина" и на заводах АЗЛК, ЗМЗ и ВЗСОМ.

Лабораторные и промышленные испытания герметичности отливок пока-

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1290556
Зеленов В.Н.Литье под дав

зали, что заливка твердо-жидким сплавом является одним из основных методов повышения герметичности отливок.

Дальнейшие исследования были направлены на изучение проблемы заполняемости форм твердо-жидким сплавом.

Дана оценка влияния на заполняемость формы твердо-жидким сплавом параметров технологического процесса. Экспериментальные исследования проводились на пробе в Литейной лаборатории МВТУ и при отливке 8-и цилиндровых блоков на ЗМЗ.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. Предложена модель, устанавливающая взаимосвязь герметичности с давлением в газовых порах и пористостью. Показана аналитическая зависимость давления в газовых порах и пористости от основных технологических параметров процесса и свойств материала отливки.

Экспериментально исследовано распределение давления в газовых порах и плотности по сечению отливки типа пластины при литье под давлением. Показана взаимосвязь этих параметров с изменением герметичности материала по сечению отливки.

Предложен и экспериментально подтвержден механизм течения и остановки потока твердо-жидкого сплава в канале формы при литье под давлением.

Исследовано влияние основных технологических параметров на заполняемость формы твердо-жидким расплавом.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ РАБОТЫ. Результаты исследования опробованы в производственных условиях. Показано, что заливка твердо-жидким сплавом позволяет повысить герметичность отливок. Показана возможность заполнения твердо-жидким расплавом форм наиболее сложной конфигурации. Сделаны рекомендации по технологии литья под давлением алюминиевых сплавов в твердо-жидком состоянии.

РЕАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ. Проведенные исследования позволили оптимизировать процесс литья под давлением твердо-жидкого сплава при получении отливки "Удлинитель" на АЗЛК. Выданы рекомендации по литью под давлением из твердо-жидкого сплава деталей компрессоров на заводе ВЗКОМ.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ. Совершенствование технологического процесса литья под давлением твердо-жидкого расплава на АЗЛК позволило снизить брак и повысить стойкость пресс-форм, что дало экономический эффект в размере II тыс. рублей в год.

Промышленное опробование перевода деталей компрессоров с заливки перегретым сплавом на заливку твердо-жидким сплавом на заводе ВЗКОМ по-

зволило снизить брак по негерметичности. Ожидаемый экономический эффект составляет 2,5 тыс.рублей в год.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Материалы диссертации были доложены и обсуждены на следующих конференциях и семинарах:

1. Семинар "Развитие и совершенствование литья под давлением" МДНТП им.Дзержинского, 1975г.

2. Конференция молодых ученых и специалистов ЗИЛ-НИИТАвтопром, 1975г.

3. Четвертая всесоюзная межвузовская научно-техническая конференция "Научные основы автоматизации производственных процессов в машиностроении и приборостроении", Москва, 1975г.

ПУБЛИКАЦИИ. По теме диссертации получено авторское свидетельство и опубликовано 4 статьи.

ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертационная работа изложена на 139 страницах машинописного текста, содержит 6 таблиц, 126 иллюстраций и список использованной литературы из 79 наименований работ отечественных и зарубежных авторов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ НА ФОРМИРОВАНИЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ОТЛИВОК.

ОСНОВНЫЕ ГИПОТЕЗЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ. Под герметичностью понимается способность отливок при заданном перепаде давлений на противоположных стенках не пропускать газы или жидкость.

Герметичность является комплексным показателем качества отливки. Причиной негерметичности могут быть: неполное заполнение формы, неспай, рыхлота, наличие неметаллических включений, трещины, а также газоусадочные дефекты. Формирование дефектов, приводящих к негерметичности, происходит, в основном, на стадии заполнения формы и затвердевания отливки. Формирование герметичности на стадии заполнения связывается в литературе с образованием плотной литейной корки.

Современные гипотезы связывают образование плотной литейной корки с оттеснением ("захлопыванием") газовых пузырьков на поверхности формы и с выносом газовых пузырьков в поле скоростей при заполнении формы.

На стадии затвердевания механизмы формирования герметичности, имеющиеся в литературе, можно разделить на две группы: одни из них связывают формирование сквозных дефектов, приводящих к негерметичности, с газоусадочной пористостью, другие - с разрушением материала отливки под действием возникающих в ней напряжений.

И тот, и другой вид дефектов связан с усадочными процессами в

отливке.

Возможность воздействия на эти процессы обусловливает возможность управления формированием герметичности отливок.

К гипотезам первой группы можно отнести модели формирования усадочной пористости в работах Чернова Д.И., Куманина И.Б., Вейника А.И., Бочвара А.А..

К гипотезам второй группы относятся работы по механизму образования горячих трещин в отливках Гуляева Б.Б., Прохорова Н.Н., Новикова И.И. и Степанова Ю.А.

Особенности формирования горячих трещин в отливках, полученных литьем под давлением, рассмотрены в работах Константинова Л.С.

По гипотезе Константинова Л.С. механизм образования горячих трещин определяется наличием газовых пор, сжатых под давлением прессования. Вероятность образования горячих трещин уменьшается из-за уменьшения влияния местной концентрации деформаций в затвердевающей корочке, плотно прижатой к поверхности формы. Можно предположить, что величина давления в газовых порах будет зависеть от объемной усадки сплава, количества твердой фазы в расплаве, количества замешанного газа и степени сжатия газовых включений. Поэтому была поставлена задача создания математической модели, связывающей основные технологические параметры с давлением в газовых порах и герметичностью отливок.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ. Анализ работ по исследованию газосодержания отливок, полученных литьем под давлением, показывает, что в таких отливках содержание газов значительно превышает количество газов, соответствующих равновесной растворимости. Заполнение с большими скоростями негазопроницаемой формы в условиях, когда вентиляционные каналы перестают действовать задолго до окончания заполнения, приводит к тому, что отливка, полученная этим способом литья, с необходимостью представляет собой стабилизированную при затвердевании смесь металла с газами (воздухом, продуктами разложения смазок). После заполнения формы газометаллическая смесь сжимается под давлением прессования (или подпрессовки). После перемещения питателя расширение газовых пор, находящихся под избыточным давлением, компенсирует объемную усадку отливки.

В диссертации показано, что на степень сжатия газометаллической смеси основное влияние оказывает сжатие газовых включений.

В работе предложена математическая модель, в которой сделано предположение, что герметичность нарушается из-за того, что исчерпывается деформационная способность материала в районе газовых пор, особенно

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
МВТУ им. Н. Э. Баумана БИБЛИОТЕКА

малая при охлаждении сплава в температурном интервале хрупкости. Чем больше перепад давлений в отливке, тем больше интенсивность напряжений и деформаций, тем более вероятно появление микротрещин в районе газовых пор, ведущих к нарушению герметичности.

Нарушение герметичности можно связать также с абсолютной величиной давления в газовых порах.

При падении давления в порах увеличивается размер газовых пор, увеличивается склонность отливки к горячим трещинам из-за местной концентрации напряжений, могут возникать усадочные дефекты, более опасные для нарушения герметичности. Поэтому существует нижний предел оптимальной величины давления в газовых порах и оптимальный диапазон давления в газовых порах для получения герметичных отливок.

В модели условие нарушения герметичности принято в виде

$$e_{ij} < [\varepsilon]_{доп} \qquad (1)$$

где e_{ij} -интенсивность деформаций при затвердевании слоя Δx_j ;

$[\varepsilon]_{доп}$-запас деформационной способности материала в условиях одноосного растяжения.

$$e_{ij} = 2 w_{aij} a_н^2 / r^3 \qquad (2)$$

где r - текущее значение координаты (радиуса) в районе поры;

w_{aij}- приращение величины радиуса;

$a_н$ - первоначальный радиус поры.

Приращение величины радиуса находится из решения задачи об упругопластическом состоянии сферы, нагруженной внутренним давлением:

$$\ln w_a + \frac{6G(1-\lambda)}{a\lambda\sigma_т} w_a = \frac{3}{2}\frac{P_a}{\lambda\sigma_т} - \ln\frac{6G}{\sigma_т a} - 1 \qquad (3)$$

где G -модуль упругости 2-го рода;

$\lambda = 1 - E_т/E$ - параметр упрочнения материала при деформации;

$\sigma_т$ - предел текучести материала при чистом сдвиге;

$P_a = \Delta P_{ij}$ - давление в поре при затвердевании слоя Δx_j .

Когда определяется величина ΔP_{ij} при затвердевании каждого последующего слоя учитывается как понижение давления в жидкости за счет усадки слоя Δx_j , так и некоторое повышение давления за счет расширения пор в затвердевших ранее слоях отливки.

Алгоритм решения приводится в диссертации. Для численного решения задачи необходимо знание величины G , $\sigma_т$ и $[\varepsilon]_{доп}$, которые существенно зависят от температуры.

Реологические свойства алюминиевых сплавов при высоких температурах исследованы к настоящему времени недостаточно и поэтому в диссер-

тации численного решения задачи не приводится.

Качественный анализ показывает, что герметичность отливок связана с изменением пористости и давления в газовых порах по сечению отливки.

Для количественной оценки влияния основных технологических параметров на изменение пористости и давления в газовых порах в диссертации рассматривается упрощенная модель задачи.

Оценим изменение пористости и давления в газовых порах в процессе последовательного затвердевания полубесконечной пластины после перемерзания питателя. Принимается, что газовые поры распределены по всему объему отливки равномерно и что они не расширяются в затвердевшей части отливки до окончания затвердевания. При заполнении формы твердо-жидким металлом принимается, что к моменту заполнения формы твердая фаза равномерно распределена по объему отливки.

Уравнение баланса объемов до и после затвердевания элемента можно записать в виде (рис. I,а):

$$(R-X)K_1 + \Delta X'(1-\Psi-K_1)\beta = (R-X-\Delta X)(K_1+\Delta K) + \Delta X K_1 \quad (4)$$

где $(R-X)K_1$ – объем газа в жидкой части отливки до затвердевания элемента $\Delta X'$;

$\Delta X'(1-\Psi-K_1)\beta$ – величина усадки элемента $\Delta X'$;

$(R-X-\Delta X)(K_1+\Delta K)$ – объем газа в жидкой части отливки после затвердевания элемента $\Delta X'$;

$\Delta X K_1$ – объем газа, перешедший в затвердевшую часть отливки.

Переходя в уравнении (4) к пределам, получим:

$$e^{K_1-K_0} = \frac{R-X}{X}\left(\frac{1-\Psi-K_0}{1-\Psi-K_1}\right)^{1/\beta} \quad (5)$$

Пренебрегая изменением температуры по координате X (модель малой интенсивности охлаждения, $Bi_1 \ll 1$), имеем:

$$P_1 K_1 = P_{np} K_0 \quad (6)$$

или:

$$P_1 = \frac{P_{np} K_0}{K_1} \quad (7)$$

где P_{np} – давление прессования; P_1 – изменяющееся по координате X значение давления в газовых порах; K_0 и K_1 – значения пористости.

При охлаждении отливки после затвердевания давление в газовых порах и пористость будут изменяться. Предполагая, что объемная усадка отливки компенсируется расширением газовых пор, получим для

пористости отливки при температуре T_2 значение:

$$K_2 = 1 - (1 - K_1) e^{\beta_0 (T_{кр} - T_2)} \qquad (8)$$

где K_1 - значение пористости в момент окончания кристаллизации.

Давление в газовых порах при температуре T_2 определяется по формуле:

$$P_2 = P_{пр} \frac{K_0 T_2}{K_2 T_{кр}} \qquad (9)$$

Для выявления влияния отдельных параметров процесса на распределение пористости и давления в газовых порах по сечению отливки зависимости (5-9) рассчитывались с применением ЭЦВМ "Наири-К".

На рис. I показано изменение пористости и давления в газовых порах по сечению отливки после затвердевания (кривые I,2,3,4) и после охлаждения отливки до температуры удаления из формы (кривые I^I,2^I, 3^I,4^I). Расчеты выполнены для отливок из алюминиевого сплава А-995 с величиной $\beta = 0{,}071$ и $\beta_0 = I{,}4I\ I0^{-4}$ I/°С, толщиной 4 мм при размерах питателя 2 мм (R =I мм; $X_н$ =Iмм). Температура кристаллизации $T_{кр}$ =600°С, T_2 =300°С, давление прессования $P_{пр}$ =I000 кг/см^2, количество твердой фазы в расплаве к моменту перемерзания питателя ψ = 0,1.

Увеличение содержания твердой фазы существенно влияет на уменьшение пористости отливок. Это видно из сравнения кривых I и I^I, 2 и 2^I, построенных для значений ψ =0,I и кривых 3 и 3^I и 4 и 4^I для ψ =0,5 (рис. I).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ОТЛИВОК, ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ. Для оценки герметичности отливок разработаны две методики.

Первая методика основана на измерении расхода газа, переходящего через исследуемый образец, при помощи пенного расходомера с возможностью визуального наблюдения мест течи.

Вторая методика основана на измерении расхода газа по изменению давления при помощи датчиков давления с записью показаний на самописце ЭПП-09. Она предназначена для замера малых расходов, менее I см^3/мин.

Для измерения плотности отливок была изготовлена установка гидростатического взвешивания с термостатированием рабочей ванны. Гидровзвешивание проводилось в толуоле. Плотность определялась с точностью $\pm$ 5 $I0^{-4}$ г/см^3.

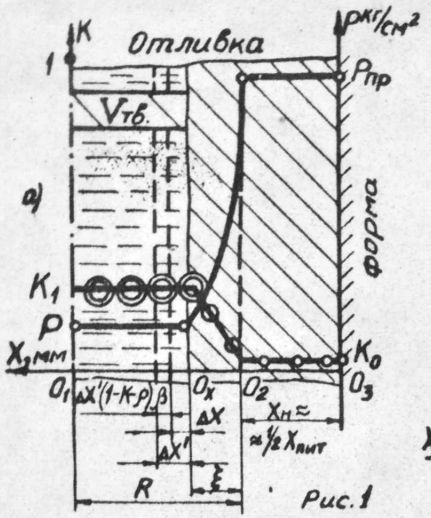
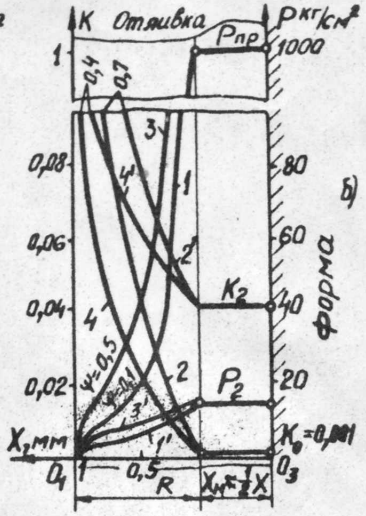


Рис. 1



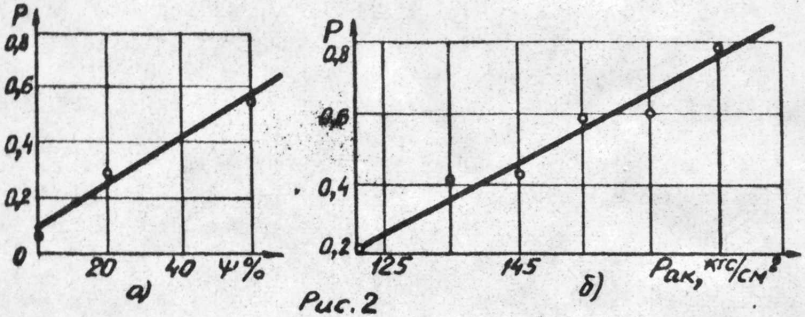


Рис. 2

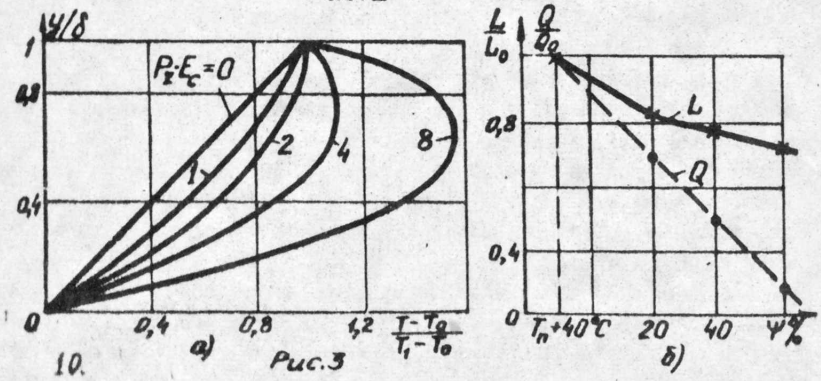


Рис. 3

Была разработана методика определения количества твердой фазы в расплаве перед заливкой по температурной кривой охлаждения сплава.

Отливки из сплава АЛ9В получались литьем в кокиль и под давлением на машине 5I5 с контролем основных параметров технологического процесса: средней скорости прессования, давления, температуры металла и формы.

Изменение плотности по толщине пластины определялось послойным снятием материала. Эксперименты показали, что с увеличением содержания твердой фазы в расплаве и давления прессования возрастает герметичность отливок. Это соответствует основным выводам, сделанным на основании анализа рассмотренных моделей. Эксперименты также показали, что отлитые в кокиль образцы имеют плотность, которая мало изменяется по толщине отливки. Плотность отливок не изменяется и при термической обработке отливок (температура 500°С, время выдержки 60 мин).

Плотность образцов, полученных литьем под давлением, сильно изменяется по толщине пластины. Термообработка приводит к существенному изменению плотности, особенно в поверхностных слоях. Сравнение изменения плотности по толщине пластины, отлитой в кокиль и под давлением, до и после термообработки позволили оценить изменение давления в газовых порах по толщине пластины.

Оценка остаточного давления в газовых порах дала возможность предложить метод термообработки в автоклаве под давлением с целью предотвращения вспучивания поверхностных слоев отливок. Термообработке подвергались отливки "Корпус заряда" из сплава ЦАМ-4. Термообработка при 350°С с внешним избыточным давлением 50 атм. не привела к вспучиванию поверхности отливок.

С целью промышленного опробования возможности повышения герметичности отливок из алюминиевых сплавов на АЗЛК проводилось исследование технологического процесса литья под давлением сплава АЛ9В в твердо-жидком состоянии. Установлено, что увеличение количества твердой фазы в расплаве и давления прессования значительно повышают вероятность получения герметичных отливок "Удлинитель" (рис.2).

Опробование процесса литья твердо-жидким сплавом в литейном цехе ВЗКОМ показало, что перевод на данный способ литья двух деталей головок компрессоров понижает брак по негерметичности на 20%. Для промышленного внедрения этого способа литья необходимо решение ряда проблем, связанных с изучением возможности заполнения сложных пресс-форм таким сплавом и механизации процесса заливки.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАПОЛНЯЕМОСТИ ФОРМ ТВЕРДО-ЖИДКИМ СПЛАВОМ ПРИ ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ.

ОБЗОР РАБОТ ПО ПРОБЛЕМЕ ЗАПОЛНЯЕМОСТИ ФОРМ ТВЕРДО-ЖИДКИМ СПЛАВОМ. Во второй части работы ставится задача исследования заполняемости форм твердо-жидким сплавом. Конечной целью является исследование возможности заполнения твердо-жидким сплавом форм сложной конфигурации. Существующие методы расчета жидкотекучести связывают её с запасом теплоты в сплаве. Поэтому с увеличением количества твердой фазы в исходном расплаве заполняемость при прочих равных условиях должна понижаться по сравнению с перегретым сплавом. Практика заполнения форм сплавом в твердо-жидком состоянии дает основание предположить о наличие особого механизма жидкотекучести сплавов при литье под давлением.

Согласно предложению Вейника А.И. дополнительная жидкотекучесть при литье под давлением связана с дополнительным разогревом расплава из-за диссипации энергии трения. Дополнительная теплота от диссипации энергии, отнесенная к объему отливки, обеспечивает, по оценкам Вейника А.И., разогрев расплава на 10-15°С. Такого рода разогрев не может объяснить жидкотекучесть твердо-жидкого сплава.

Вторым резервом увеличения жидкотекучести при литье твердо-жидкого сплава является изменение его свойств при разрушении структуры сплава.

Повышение жидкотекучести и заполняемости форм твердо-жидким сплавом по сравнению с ожидаемой, исходя из запаса теплоты сплава, можно объяснить местным по сечению потока разогревом расплава наряду с изменением свойств сплава при разрушении его структуры.

РЕЖИМ ТЕЧЕНИЯ И МЕХАНИЗМ ОСТАНОВКИ ПОТОКА ТВЕРДО-ЖИДКОГО СПЛАВА В ПРОБЕ НА ЖИДКОТЕКУЧЕСТЬ ПРИ ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ. Для описания течения твердо-жидкого алюминиевого сплава можно принять модель неньютоновской вязкопластической жидкости:

$$\dot{\varepsilon} = -\frac{dw}{dz} = \begin{cases} \frac{\tau - \tau_0}{\eta'} & \text{при } \tau_0 < \tau < \tau_w \\ 0 & \text{при } \tau \le \tau_0 \end{cases} \qquad (10)$$

где $\dot{\varepsilon}$ - скорость деформации; w - текущее значение скорости металла; z - координата; τ - напряжение трения; τ_0 - предельное напряжение сдвига; η' - динамический коэффициент структурной вязкости.

При течении такой неньютоновской жидкости по каналу формы в потоке возникают сдвиговые напряжения, которые имеют максимальное зна-

чение τ_ω у стенок формы и уменьшаются до нуля в центре потока. Та часть потока, где эти напряжения меньше величины τ_0, движется как твердое тело. Между ней и стенкой формы расположен деформационный слой. Толщина деформационного слоя: $\delta = a(1-\tau_0/\tau_\omega)$ где - a -характерный размер (половина толщины) потока. При наличии слоя смазки можно выделить три режима течения твердо-жидкого сплава по каналу формы при литье под давлением:

а. Режим скольжения: $\tau_0 > \tau_\omega$; $\delta < 0$

Деформационный слой сосредоточен в слое смазки. Поток твердо-жидкого сплава движется относительно поверхности формы как твердое тело. Происходит интенсивный износ (смыв) подвижных, слабых слоев смазки, приводящий к увеличению τ_ω. Остаточные продукты смазки имеют $\tau_\omega > \tau_0$.

б. Режим автосмазки: $\tau_\omega > \tau_0$; $\delta << a$

Деформационный слой сосредоточен в узком пристеночном слое твердо-жидкого сплава.

в. Режим течения: $\tau_\omega >> \tau_0$; $\delta \approx a$

Деформационная зона охватывает весь поток твердо-жидкого сплава. Режим автосмазки - наиболее типичный режим при движении потока твердо-жидкого сплава по каналу формы при литье под давлением. Оценку эффекта разогрева потока расплава за счет диссипации энергии при течении по такому режиму можно дать на основании анализа модели течения Куэтта. Для модели течения Куэтта имеется точное решение распределения температуры в условиях вязкого течения. Температурное поле в деформационном слое зависит только от произведения критерия Прандтля Pr на число Эккерта Ec (рис.3). Для случая $Pr\,Ec > 2$ диссипативная энергия, выделяющаяся в деформационном слое, повышает его температуру до температуры твердоподобной сердцевины сплава, которая теплоизолируется от стенок формы.

С увеличением количества твердой фазы в расплаве вязкость его увеличивается и теплоизоляция центральной части потока происходит при меньших скоростях потока.

Отсюда следует, что остановка твердо-жидкого потока сплава в канале пробы на жидкотекучесть из-за накопления твердой фазы в головной части потока невозможна, так как увеличения содержания твердой фазы в центральной части потока не происходит. Можно предположить, что остановка потока расплава происходит, в основном, за счет смыкания растущих от стенок формы корочек.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАПОЛНЯЕМОСТИ ФОРМ ТВЕРДО-ЖИДКИМ СПЛАВОМ. Экспериментальное исследование жидкотекучести и заполняемости при литье под давлением сплавов в твердо-жидком состоянии проводилось в Литейной лаборатории МВТУ. В качестве пробы на заполняемость использовалась вставка в пресс-форму, оформляющая канал размером 2x10 мм в виде лабиринта.

Исследование внешнего вида и плотности лабиринта по длине показало, что конечное давление прессования передается только на начальные участки лабиринта.

Металлографические исследования подтвердили механизм остановки потока расплава за счет сраставшихся корочек. Плотность материала отливки за местом перехима резко уменьшается. Эта часть металла должна быть выведена в промывник. Повышение плотности этой части может быть достигнуто также за счет запрессовки металла в форму с постоянно увеличивающейся скоростью прессования.

Исследование влияния скорости течения металла в форме на заполняемость показало, что увеличение заполняемости с увеличением скорости течения металла в форме носит сложный характер. При скорости течения металла 6-8 м/сек темп увеличения заполняемости с ростом скорости уменьшается, что свидетельствует об изменении режима течения сплава. Для перегретого сплава этот скоростной режим соответствует переходу от ламинарного режима к турбулентному, для твердо-жидкого сплава - от режима автосмазки к режиму течения. Поэтому скорости течения металла до 6-8 м/сек могут быть рекомендованы при литье твердо-жидких сплавов.

Исследование зависимости заполняемости формы перегретым и твердо-жидким сплавом с различным содержанием твердой фазы в зависимости от запаса теплоты кристаллизации показало, что уменьшение заполняемости при увеличении твердой фазы в расплаве происходит медленнее, чем уменьшение запаса теплоты кристаллизации (рис.3). В конечном счете, это связано с увеличением диссипативной энергии, выделяющейся в потоке. Она составляет часть энергии, забираемой от механизма прессования. Чем больше энергия, забираемая от механизма прессования, тем больше заполняемость формы сверх той, которую можно ожидать, исходя из запаса теплоты кристаллизации сплава.

Увеличение заполняемости за счет уменьшения интенсивности отвода тепла может быть достигнуто при литье перегретых и твердо-жидких сплавов, как показали исследования, за счет использования теплозащитных свойств смазок. Это показано на основании расчетных оценок теплового сопротивления слоя смазки и при экспериментальных исследова-

ниях заполняемости пробы на жидкотекучесть при разных режимах смазки.

С целью промышленного опробования возможности заполнения сложных форм твердо-жидким сплавом на Заволжском моторном заводе было проведено опробование заливки восьмицилиндрового блока из сплава АЛ-4. Проведенное опробование показало возможность качественного заполнения полости формы твердо-жидким сплавом.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ.

1. Проведенные исследования показали, что герметичность отливок может быть повышена при использовании литья под давлением сплавов в твердо-жидком состоянии.

2. Показано, что герметичность отливок повышается при литье сплавов в твердо-жидком состоянии с увеличением количества твердой фазы в расплаве и давления прессования.

3. Использование литья под давлением сплавов в твердо-жидком состоянии наряду с повышением герметичности обеспечивает уменьшение вероятности пробрызгивания металла по разъему. Это дает возможность использовать менее мощные механизмы запирания на машинах литья под давлением и уменьшить вероятность образования облоя на отливках.

4. Использование литья под давлением сплавов в твердо-жидком состоянии позволяет увеличивать стойкость пресс-форм и производительность машин.

5. Предложена математическая модель, устанавливающая связь основных технологических параметров с усадочными процессами, ответственными за формирование герметичности в отливках, получаемых литьем под давлением.

6. Дана оценка давления в газовых порах и предложен метод термообработки отливок, получаемых литьем под давлением, в автоклаве при избыточном давлении.

7. Исследовано влияние технологических параметров на заполняемость форм твердо-жидким сплавом. Выданы рекомендации по выбору оптимальных скоростей течения потока расплава и типу используемых смазок для увеличения заполняемости.

8. Предложен механизм течения и остановки потока твердо-жидкого сплава в канале пробы на жидкотекучесть при литье под давлением. Сделаны рекомендации по устранению дефектов, приводящих к негерметичности, обрезующихся на стадии заполнения формы.

9. Показана возможность заполнения твердо-жидким сплавом форм сложной конфигурации. Проведена отливка из твердо-жидкого сплава

опытной партии восьмицилиндровых блоков на Заволжском моторном заводе.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ВЫВОДЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ.

1. К вопросу формирования пористости в отливках литья под давлением. Известия ВУЗов. "Машиностроение", 1973 №11 (Соавторы: Кисленко Л.Н., Майоров В.И.).
2. Некоторые факторы, влияющие на формирование служебных свойств отливок при литье под давлением. Сб. трудов МВТУ №187, 1975г. (Соавторы: Кисленко Л.Н., Петрова И.К.).
3. Литье под давлением сплавов в твердо-жидком состоянии. "Литейное производство" №4, 1975г. (Соавторы: Кисленко Л.Н., Комаров В.П., Зенков Б.Б.).
4. Заполняемость пресс-форм при литье под давлением сплавов в твердо-жидком состоянии. Тезисы семинара "Развитие и совершенствование литья под давлением". Знание, 1975г. (Соавторы: Кисленко Л.Н., Зенков Б.Б.).
5. Роль смазки пресс-форм в процессе литья под давлением. Тезисы семинара "Развитие и совершенствование литья под давлением". Знание, 1975г. (Соавторы: Зенков Б.Б., Кисленко Л.Н.).