

1	2
17. Несовместимость химического состава сплава	
Использованы некачественные шихтовые материалы.	Использовать кондиционные шихтовые материалы.
Металл загрязнен в процессе плавки.	Соблюдать технологию плавки.
18. Несовместимость структуры сплава	
Нарушен тепловой режим литья.	Соблюдать технологические параметры плавки. Изменить конструкцию ЛПС.
Несовместимость химического состава сплава паспортным данным.	Использовать кондиционные шихтовые материалы. Изменить паспортные данные.
19. Неудовлетворительные механические свойства сплава	
Химический состав сплава не соответствует паспортным данным.	Использовать кондиционные шихтовые материалы.
Несовместимость структуры сплава.	См. п. 18
В отливке присутствуют несплошности металла (спаи, рыхлоты и т.п.).	См. п. 13-16

Дефекты отливок, полученных в гипсовых формах. Дефекты, за некоторыми исключениями, присущие стальным отливкам из углеродистых сталей (коробление, трещины, повышенная шероховатость поверхности, спаи, недоливы, незаливки и т.п.), получаемых в КО, присущи и отливкам из медных, алюминиевых и магниевых сплавов, получаемых в монолитные гипсовые формы. При этом способы предупреждения данных дефектов у отливок, получаемых в гипсовые формы, практически такие же, как и для стальных отливок, получаемых в КО.

В частности, с целью снижения величины газосадовочной пористости отливок для их изготовления следует использовать первичные шихтовые материалы с хорошо очищенной поверхностью, понизить начальную температуру формы к моменту её заливки до 150...200°C, в кремнистой латуни понизить содержание кремния, дегазировать расплав и т.п. Для снижения шероховатости отливок форму следует выполнять из гипсовой смеси, не содержащей кварцевый песок. К числу таких смесей относится, например, гипсовая смесь, содержащая (по массе): 80% гипса и 20% обожжённого хризотилового асбеста (порошка).

Устранить трещины в отливке можно путём повышения технологичности её конструкции, конструкции ЛПС, ornamentирования поверхности отливки или изменив режим прокаливания формы. В последнем случае прокаливание формы следует проводить в течение 3...6 ч при температуре 500...600°C, либо в течение 1,5...2,0 ч при температуре 700...750°C.

К числу специфических дефектов отливок, получаемых в монолитных гипсовых формах, относится вспил и, для отливок из магниевых сплавов, загар.

Вспилы — это крупные поверхностные газовые раковины. Для предупреждения образования вспилов следует увеличить длительность и температуру прокаливания форм, в "тупиковых" частях формы выполнить выпоры.

Загар — это локальное или полное почернение поверхности отливки из магниевых сплавов. Во избежание образования данного дефекта поверхности, в гипсовую смесь вводят 1% борной кислоты, в форме не выполняют выпоры и не используют припыли открытого типа, перед заливкой поверхности ЛВ и доступную часть поверхности стоека припыливают смесью, состоящей из (по массе) 50% борной кислоты и 50% порошкообразной серы.

Влияние человеческого фактора на качество отливок. Несмотря на значительные успехи и прогресс в области литья по выплавляемым моделям, на сегодняшний день промышленная реализация данного метода ещё далёка от совершенства и характеризуется относительно невысокой стабильностью качества, что,

в совокупности с относительно высокой себестоимостью литья, по сравнению с другими способами получения деталей, зачастую не прибавляет данному способу привлекательности, ни конкурентоспособности.

Рассматривая вопрос об уровне и стабильности качества отливок, получаемых методом литья по выплавляемым моделям, следует отметить, что на качество лито-человеческий [234], в свою очередь, зависящий от уровня квалификации и уровня оплаты труда работников, их морально-нравственного и физического состояния, брака изготавливаемых отливок доля технологической и человеческой составляющей может быть различна даже в условиях одного предприятия для различных наименований отливок и, при всех прочих равных условиях, зависит от степени автоматизации производства литья.

В условиях низкого уровня автоматизации производства доля человеческого фактора становится преобладающей и, даже несмотря на высокий уровень используемой технологии, технологичность отливок и совершенство конструкций испытываемых деталей — нестабильно. Поэтому высокий уровень брака отливок не всегда является показателем плохо спроектированной конструкции ЛПС, нетехнологичной отливки и т.п. То есть в условиях выбранной технологической схемы производства брака какого-либо наименования отливок, изготавливаемых на каком-либо предприятии, можно рассчитать по формуле:

$$Br = Br_1 + Br_2 \quad (15.5)$$

где Br_1 и Br_2 — доля брака отливок, обусловленная влиянием технологических факторов и фактора человеческого соответственно, %.

В "чистом" виде определить величины, входящие в правую часть формулы (15.5), достаточно проблематично. Тем не менее с определённой степенью точности оценить их абсолютные значения возможно.

Для выяснения степени влияния человеческого фактора на качество отливок автором были проведены соответствующие исследования и социальные активно направленные эксперименты на ряде отечественных предприятий, серийно производящих литьё методом выплавляемых моделей.

Первый этап проведенных исследований преследовал цель выявить наличие влияния человеческого фактора как такового на качество литья. С этой целью, исходя из того, что в различные дни рабочей недели работники имеют различное психо-физическое состояние, все основные технологические операции производства литья (изготовление моделей отливок и монтаж модельных блоков, изготовление КО, заливку КО) для каждой конкретной партии отливок выполняли или начинали выполнять только в строго определённые дни недели (например, только по понедельникам, только по вторникам и т. д.). То есть, например, для выбранных отливок-представителей одной партии изготовление моделей отливок и монтаж модельных блоков, изготовление КО и их заливку проводили только по понедельникам и т. д.

Для исследований были выбраны две отливки-представителя, изготавливаемые на различных предприятиях методом литья по выплавляемым моделям, по различным технологическим схемам.

Результаты определения величины общего брака у выбранных отливок-представителей представлены на гистограмме рис. 15.1.

На рис. 15.1 черным цветом отмечена величина брака отливок "Корпус" из стали 10Х18Н9Л (масса отливки 1,7 кг), белым цветом отмечена величина брака отливки "Ключ" из стали 45Л (масса отливки 0,065 кг).

Анализ данных, представленных на рис. 15.1, показывает, что величина общего брака отливок находится в прямой зависимости от дня недели, в который выполняли основные технологические операции по их производству. При этом наибольший брак отливок наблюдался в партиях отливок, у которых все основные технологические операции проводили по понедельникам. Наименьший брак — в партиях отливок, у которых все основные технологические операции проводили по четвергам, что свидетельствует о значительном влиянии человеческого фактора на уровень брака выбранных отливок-представителей.

Второй этап исследований был направлен на изучение влияния длительности времени производства серийных отливок на величину их брака. Для исследований были выбраны девять отливок, ранее не изготавливаемых на данных предприятиях. Обобщенная зависимость величины общего брака этих отливок, от длительности времени их производства (с момента начала освоения технологии производства отливок на данных предприятиях) представлена на рис. 15.2.

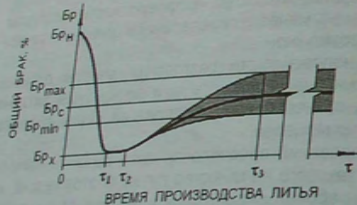


Рис. 15.2. Зависимость величины общего брака отливка от длительности времени выпуска отливка

зации технологических параметров получения отливок инженерами-технологами.

Второй период времени (от τ_1 до τ_2) — период, характеризующийся наименьшей величиной общего брака выпускаемых отливок, находящейся на уровне $B_{рх}$. Данный период выпуска литья соответствует окончанию процесса освоения технологии производства отливок и началу их серийного выпуска.

Третий период времени (от τ_2 до τ_3) — период, характеризующийся началом повышения среднего уровня общего брака литья от величины $B_{рх}$ до $B_{рс}$. Как прави-



Рис. 15.1. Зависимость величины общего брака отливок от дня недели выполнения основных технологических операций

ло, причиной повышения уровня общего брака отливок являлось прислабление работников к появившимся новым технологическим операциям на новой цеховой продукции, с определенным, незаметным для этих работников, ущербом качества продукции, но максимально возможным для работников удобства выполнения этих технологических операций.

Четвертый период времени (от τ_3 и далее) — период серийного выпуска литья, данный период выпуска литья наиболее продолжительный из всех вышеперечисленных периодов и характеризуется устойчивым изменением уровня общего брака отливок в пределах от $B_{рmin}$ до $B_{рmax}$, со средней величиной общего брака $B_{рс}$. Возвращаясь к зависимости, представленной на рис. 15.2, следует отметить, что минимум величины общего уровня брака во втором периоде времени выпуска отливок, собственно, с определенной степенью допущений, и является величиной человеческого фактора $B_{рч}$, составляет (в среднем):

$$B_{рч} = B_{рс} - B_{рл} \quad (15.6)$$

Наличие минимума в зависимости, представленной на рис. 15.2, объясняется хоторским эффектом и свидетельствует в пользу значительного влияния человеческого фактора на качество отливок, производимых методом литья по выплавляемым моделям (**хоторский эффект** — это условия, при которых новизна, интерес к эксперименту или повышенное внимание к какому-либо вопросу приводят к искаженному, зачастую слишком благоприятному, результату).

То есть участники освоения технологии производства новой отливки работают намного усерднее и кропотливее, чем обычно, благодаря, во-первых, тому, что они причастны к данному процессу, во-вторых, потому, что данная работа отличается от повседневной рутинной работы, в-третьих, потому, что работники, участвующие в освоении технологии производства новой отливки (отливки), в этот период времени достаточно оперативно получают информацию о качестве произведенной ими продукции (качестве осваиваемой отливки или отливки).

В рассматриваемом случае, по мнению автора, именно эти обстоятельства привели к появлению минимума на зависимости, представленной на рис. 15.2.

Исходя из вышеизложенного, целью третьего этапа работы стало определение долевого влияния технологического и человеческого факторов на качество отливок времени производства отливок (см. рис. 15.2).

В качестве объекта исследований были выбраны турбинные лопатки, изготавливаемые из жаропрочного никелевого сплава в вакуумной плавильно-заливочной установке УППФ-3М.

Методика набора статистических данных состояла в следующем. В литейном цехе одного из промышленных предприятий осуществлялся набор статистической информации о качестве турбинных лопаток, произведенных по технологии, принятой на предприятии, в течение чередующихся друг за другом 46 рабочих дней. При этом за указанный период времени на 14-й, 29-й, 34-й и 45-й день работы цеха (по четвергам) на плавильный участок цеха приходил наблюдатель, о чём за сутки до этого уведомляли работников цеха. Основной задачей наблюдателя являлось его присутствие на плавильном участке и наблюдение за действиями бригады плавильного участка в период проведения контрольных плавов, не вступая в контакт с работниками цеха.

Критерием оценки качества отливок, залитых в рассматриваемый период времени, являлась величина брака турбинных лопаток, забракованных по результатам

исследования их качества методом ЛЮМ-контроля (по поверхностным дефектам). Результаты определения величины брака турбинных лопаток, по данным ЛЮМ-контроля представлены на рис. 15.3.



Рис. 15.3. Зависимость величины брака отливок (по данным ЛЮМ-контроля) от порядкового номера рабочего дня заливки КО

Анализ данных, представленных на рис. 15.3, показывает, что величина забракованных по результатам ЛЮМ-контроля турбинных лопаток, от общего числа залитых турбинных лопаток, изменяется в пределах от 27,5% до 39,5% и в среднем составляет 34%. При этом величина забракованных ЛЮМ-контролем турбинных лопаток, от числа залитых во время контрольных плавов, находится в пределах от 8,0% до 21%. Причём с увеличением числа проведенных дней контрольных плавов величина забракованных по ЛЮМ-контролю турбинных лопаток повышается. В связи с этим величину брака отливок, обусловленную технологическими факторами, следует принять равной $B_{\tau}=8\%$. Соответственно величина брака, обусловленная человеческим фактором, в соответствии с формулой (15.2), составит $B_{\tau\phi}=34-8=26\%$.

Определив, таким образом, величины, входящие в уравнение (15.5), можно рассчитать коэффициент нестабильности технологии (КНТ):

$$КНТ = \frac{B_{\tau\phi}}{B_{\tau}} \quad (15.7)$$

Применительно к рассматриваемому случаю величина КНТ технологии подготовки, плавки и заливки КО составляет:

$$КНТ = \frac{B_{\tau\phi}}{B_{\tau}} = \frac{26}{8} = 3,25.$$

Чем больше величина КНТ, тем нестабильнее качество производимой продукции. Для литейных цехов с высоким уровнем автоматизации величина КНТ, как правило, меньше единицы.

По сути, в условиях литейного цеха величина КНТ является не только показателем низкого уровня автоматизации цеха, но и своеобразным критерием, определяющим основного «виновника» как нестабильности качества производимого литья, так и уровня его брака.

С определенной степенью достоверности, можно констатировать, что, если величина $КНТ \leq 1$, то за высокий уровень брака в литейном цехе, в основном, ответственны цеховые инженеры-технологи. Если величина $КНТ > 1$, то основной «груз» ответственности в данном случае лежит на структуре управления и организации производства в цехе.

Следует отметить, что величину КНТ по вышеописанной методике можно определять как для отдельных технологических операций и отдельных отливок, так и для производства отливок в литейном цехе в целом.

Зная среднюю величину брака каждого наименования отливок, его КНТ, а также объем выпускаемого цехом литья и его себестоимость, несложно рассчитать в денежном эквиваленте величину потерь от присутствия человеческого фактора в технологическом процессе выпуска литья. Располагая такими данными, в свою очередь, несложно принять решение о целесообразности автоматизации какой-либо технологической операции или технологического процесса производства литья в целом.

Опыт работы литейных цехов с высоким уровнем автоматизации основных технологических операций свидетельствует, что сокращение влияния человеческого фактора на качество выпускаемой продукции способствует сократить общий брак ликаемых литых деталей.

Обобщая вышеизложенное, можно констатировать, что:

1. В условиях низкого уровня автоматизации производства литья доля составляющей человеческого фактора весьма высока и её следует периодически определять, прежде всего, для оценки состояния технологии и технологической дисциплины в цехе.

2. Стабильного и высокого качества литья, а также высокой эффективности производства можно достичь только в условиях автоматизации всех основных технологических операций производства отливок, когда роль человеческого фактора будет сведена к минимуму.

В условиях низкого уровня автоматизации производства повышения качества производимой продукции, как правило, достигают за счёт реализации комплексных мероприятий организационного характера, а также увеличения объема контроля в процессе выпуска литья.

Исправление дефектов отливок (ремонт отливок). Дефекты в отливках исправляют в том случае, если это технически выполнимо, если длительность ремонта непродолжительна и стоимость ремонта при этом окажется ниже стоимости вновь изготовленной отливки. Основные способы ремонта отливок: рихтовка, заварка, пайка и слесарная обработка.

Металлические гребешки и сыпь, наплывы и т.п., а также технологические рёбра с поверхности отливок удаляют механически с помощью слесарного инструмента (зубил, шарошек, напильников, надфилей, заточных кругов и т.п.).

Коробление относится к числу наиболее часто встречающихся дефектов отливок, которое исправляют путём рихтовки отливок в холодном состоянии.

Рихтовке подвергают только отливки из достаточно пластичных сплавов (сплавы, у которых $\delta^{20} > 2\%$). Отливки из хрупких сплавов, например, из жаропрочных и инструментальных сталей, рихтовать не рекомендуется в связи с опасностью их разрушения в процессе рихтовки.

До начала рихтовки, с помощью контрольного прибора или измерительного инструмента, оценивают величину деформации (коробления) отливки, после чего определяют соответствующий приём рихтовки. Исправление дефекта в условиях единичного или мелкосерийного производства обычно проводят вручную с исполь-

зованием молотков. В условиях массового производства литья и при систематическом образовании дефекта рихтовку отливок производят на прессах, в специальных правочных штампах либо на специальных ручных приспособлениях.

После рихтовки проводят повторную проверку отливки и, в случае устранения дефекта, термообработывают. Термообработка после рихтовки необходима для снятия напряжений, трещины, спай, крупный засор, рыхлоты и т.п. в отливках. Как правило, стальные отливки, прошедшие засор, рыхлоты и т.п. в отливках. Наружные раковины, трещины, спай, крупный засор, рыхлоты и т.п. в отливках устраняют сварочными методами (например, с помощью шарошек), зачищают об-рабатывают пескарными методами и придавая сечению образующейся лунки V- или U-на всю глубину дефекта и придавая дефектное место заваривают, наплавляя металл образную форму. После зачистки дефектное место заваривают, наплавляя металл в зачищенной лунке под уровень с поверхностью тела отливки. Для заварки ис-пользуют аргоно-дуговую сварку, дуговую электросварку с литым электродом или с проволокой, имеющей химический состав, аналогичный отливке, газовую сварку с предварительным подогревом отливок и т.п.

Некоторые технологические особенности заварки дефектов и сварки отливок из различных сплавов приведены в табл. 15.8.

Таблица 15.8
Некоторые особенности заварки дефектов отливок из различных сплавов

Материал отливки	Особенности заварки дефектов и сварки отливок
1	2
Низкоуглеродистая сталь	Заварка (сварка) не представляет особых трудностей и не требует никаких специальных условий.
Среднеуглеродистая сталь	Среднеуглеродистые стали свариваются значительно хуже низкоуглеродистых. В связи со склонностью к закалке, отливки из среднеуглеродистой стали перед заваркой (сваркой) предварительно нагревают до 300°C и впоследствии термообработывают. По возможности, сварку ведут быстро.
Высокоуглеродистая сталь	Высокоуглеродистые стали свариваются плохо. Сталь склонна к росту зерна. Шов получается пористый. Заварку (сварку) следует вести быстро. Место заварки (сварки) следует предварительно нагреть до 660–700°C. Необходима последующая термообработка.
Хромистая сталь	Хромистые стали склонны к закалке на воздухе и образованию трещин. Перед заваркой (сваркой) отливку следует нагреть до 130–200°C. Для заварки (сварки) используют электроды со специальными покрытиями.
Хромоникелевая сталь (типа 18-8)	Сварку необходимо вести быстро и непрерывно, поскольку сталь склонна к окислению в нагретом состоянии, а также высока вероятность выделения карбидов хрома в наплавленном металле и переходной зоне шва. Для отливок из сталей с повышенным содержанием углерода необходим предварительный подогрев до 280–300°C.
Хромомолибденовая сталь	Заварка (сварка) не представляет особых трудностей и не требует никаких специальных условий.
Высокомарганцовистая сталь	Сталь склонна к образованию трещин и выгоранию марганца. Заварку (сварку) необходимо вести, по возможности, медленно, поскольку быстрый нагрев ведёт к выпадению карбидов в наплавленном металле и переходной зоне шва.
Чугун	Заварка (сварка) чугуна затруднительна в связи со склонностью чугуна к отбеливанию и образованию трещин. Горячую заварку (сварку) осуществляют при температуре отливки 650–700°C. Процесс ведут непрерывно, не допуская охлаждения металла. Используют электроды из серого чугуна, флюсы. Полугорячую заварку (сварку) осуществляют с местным нагревом отливки до температуры 300–400°C, для отливок сложной формы – до температуры 550°C. Сварку проводят качественными чугунными электродами или электродами из кремний-углеродистой стали с покрытиями. Холодную сварку проводят стальными электродами со стабилизирующей обмазкой.

1	2
Бронза	При сварке оловянная бронза обладает невысокой жидкотекучестью и хрупкостью. Выделяется олово, что приводит к образованию пористости и хрупкости на поверхности отливки. Сложность сварки алюминиевой бронзы заключается в значительном образовании окислов алюминия и белому бронза в процессе сварки образует окислы алюминия. Заварку (сварку) проводят после предварительного нагрева отливки до 500°C. Проволока для кремнистой и алюминиевой бронзы должна быть одного состава со свариваемым металлом. Для оловянных бронз используют бронзовые прутки с добавлением свинца и кремния.
Латунь	Сварку ведут при температуре отливки 500°C. Металл склонен к перегреву и деформации. При высоких температурах алюминиевые сплавы склонны к перегреву и деформации. При сварке (сварке) при охлаждении, что приводит к короблению отливки. При заварке (сварке) отливку следует нагреть до 350–450°C. Присадка – проволока из основного материала или проволока АК. Перед началом сварки поверхность отливки очищают от окисной пленки химическим или механическим путем. Процесс заварки (сварки) ведут непрерывно. Заварку ведут с использованием защитных флюсов или в защитной среде. Заварку Аргон следует применять с содержанием азота не более 0,4...0,5% и кислорода не более 0,2%.
Алюминиевые сплавы	Свариваются легко, без особых трудностей, в среде аргона.
Титановые сплавы	Свариваются легко, без особых трудностей, в среде аргона.

После заварки с помощью шарошек или напильника проводят зачистку мест заварки и нормализацию отливок. Если отливка относится к 3-й группе контроля, то пилярную дефектоскопию.

За рубежом для устранения внутренних и поверхностных дефектов титановых, магниевых, алюминиевых, никелевых, кобальтовых и стальных отливок используют метод горячего изостатического прессования (ГИП). В основном, ГИП подвергают турбинные лопатки, крыльчатки ради-установках атомной техники, медицинских протезов и детали, работающие в условиях высоких температур и изостатического давления.

ГИП (*hot isostatic pressing*) – это процесс, при котором отливку подвергают одновременному воздействию высокой температуры и изостатическому газовому давлению (наиболее используемый газ – аргон) в автоклаве в течение определенного времени. В результате проведения ГИП в отливке исчезают внутренние раковины и микропоры, чему способствует пластическая деформация и диффузия в сплаве обрабатываемой отливки.

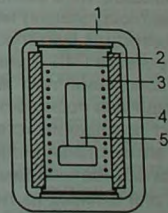


Рис. 15.4. Схема газостата

Принципиальная схема установки газового изостатического прессования (газостата) представлена на рис. 15.4 (на рис. 15.4 обозначены: 1 – рама; 2 – крышка; 3 – нагреватель; 4 – камера высокого давления; 5 – отливка). Размеры рабочей камеры различных газостатов, как правило, составляют: диаметр – 150...1600 мм, высота – 250...3200 мм. Максимальное газовое давление в рабочей камере при ГИП отливок – до 316,4 МПа, температура – до 1500°C, длительность изотермической выдержки отливок в камере газостата – 2...4 ч.

Перед проведением ГИП поверхность отливки очищают от окислов и покрывают тонким слоем специальной эмали, которую, по окончании проведения ГИП, удаляют с поверхности отливки.

Исследования проведенные автором по обработке ГИП сплавов с толщиной стенок от 3 до 8 мм из стали ВНЛ-1 и ВНЛ-6 свидетельствуют, что ГИП (ГИП исследованных отливок проводили в течение 2,0...3,5 ч при температуре 1250°C и давлении 200...220 МПа) позволяет (по данным рентген-контроля и результатам определения плотности металла отливок методом гидростатического взвешивания) уменьшить в отливках микро- и макропористость и существенно уменьшить площадь занимаемые рыхлотами в стенках отливок.

Использование ГИП позволяет не только устранять дефекты в отливках, но и повысить механические и эксплуатационные свойства сплавов [31; 149; 245 и др.]. Например, обработка ГИП отливок со стабилизирующей термомообработкой, проведенной до и после ГИП, из сплава Mar-M247 (10% Cu; 8,2% Cr; 5,5% Al; 1,5% Ni; 3% Ta; 60% Mo; Ni-остальное) позволила увеличить усталостную прочность отливок более, чем в 10 раз. При этом, после 650 ч испытаний при 982°C обработанные отливки не имели усталостных трещин, а в структуре металла не произошло выпадение новой фазы [245].

По данным [149], обработка ГИП отливок из жаропрочного никелевого сплава Rene-120 (режим обработки: P=100 МПа, t=1200 °C, τ = 4ч) позволила увеличить предел прочности сплава с 724 до 735 МПа, предел текучести с 582 до 610 МПа, относительное удлинение с 2,5 до 4,2%, уменьшила объем усадочной пористости с 0,5 до 0,03%, увеличила среднее число циклов до разрушения при испытаниях на малоцикловую усталость с 1853 до 12077 (параметры термоциклического нагружения: нагрузка 0-586 МПа, температура 870°C, частота 0,5 Гц).

Обработка ГИП отливок из титановых сплавов полностью устраняет внутренние дефекты отливок, стабилизирует механические свойства металла и повышает показатель σ₋₁ на 20...25%. Помимо этого свидетельствуют данные, приведенные в табл. 15.9 [31].

Свойства сплава ВТ35Л

Таблица 15.9

Состояние сплава	σ _B	σ _{0,2}	σ ₋₁	δ	ψ	КСУ, МДж/м ²
	МПа			%		
Литое	795	720	-	13,2	15,9	0,363
Литое+ГИП+старение	1136	982	480	8,2	17,5	0,314

Примечание. ГИП: t=870°C, τ=24, старение: t=530°C, τ=8 ч.

Исследуя механизм влияния ГИП на повышение усталостной прочности отливок из титановых сплавов, Л.Г. Ходоровский с сотрудниками установил, что в основе упрочнения сплава при обработке ГИП лежит механизм прорыва (поступления) металла в полость усадочного дефекта отливки, а не сжатие дефекта, как считалось ранее. То есть вокруг каждой поры или раковины в отливке в процессе ГИП возникает область, в которой матрица пронизана упрочняющими волокнами того же сплава. При этом, чем равномернее распределена исходная усадочная пористость в теле отливки, тем достигается больший упрочняющий эффект повышения усталостных свойств сплава при обработке ГИП. Установлено, что оптимальная величина усадочной пористости в титановых отливках, впоследствии обрабатываемых ГИП, должна составлять 1,5...2,0%. То есть использование ГИП для отливок из титановых сплавов ставит задачу получения отливок с регламентированной величиной усадочной пористости, поскольку газостатирование отливок с низкой величиной усадочной пористости практически не приводит к повышению усталостной прочности сплава [310].

Глава 16. ФОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОТЛИВОК

Точность отливки – один из показателей качества, предопределяющий затраты на последующую механическую обработку детали, массу отливки, её себестоимость, длительность цикла изготовления детали, массу изделия, в котором работает деталь, а также работоспособность, долговечность и надёжность работы в изделии. Именно по этому многочисленным работам в области литья по выплавляемым моделям посвящены решению вопроса о повышении точности получаемых отливок [65; 241; 247 и др.].

Точность отливки – это степень соответствия геометрических параметров, шероховатости поверхности и массы реальной отливки аналогичным параметрам идеальной детали. Точность отливки тем выше, чем меньше в ней будет непролинутых отверстий и пазов, чем меньше величина шероховатости, технологических напусков и припусков на механическую обработку, технологических ребер, платиков, приливов и т.п.

Требования к точности отливки предопределяются условиями её работы и налитой детали предопределяют точность получаемой отливки. На сегодняшний день для наиболее высокие требования предъявляют к точности турбинных лопаток ГД.

Точность соответствия отливки геометрическим параметрам идеальной детали – понятие комплексное, включающее следующие признаки: точность размеров, точность формы и расположения элементов отливки, шероховатость её поверхности [241].

Точность размеров. В условиях серийного выпуска литья точность размеров отливки, прежде всего, определяется стабильностью технологического процесса её изготовления. Стабильность какого-либо технологического процесса можно оценить по характеру распределения отклонений того или иного параметра, характер отливки, степень коробления отливки. К числу таких параметров относятся размеры и массовые усадочные дефекты, количество поверхностных и размеры внутренних усадочных дефектов, механические свойства сплава и т. д. В частности, по характеру распределения отклонений значений механических свойств используемого сплава можно оценить стабильность технологии плавки, химического состава размеров отливки можно оценить стабильность технологического процесса производства литья в целом.

Размерную точность отливок, получаемых в условиях текущего производства, оценивают по результатам статистического анализа измерений контролируемых размеров отливок. Для проведения статистического анализа размерной точности изготавливаемых отливок выбирают один или более размеров отливки-представителя и путём проведения замеров этих величин на определённой партии отливок определяют их значения.

Допустим, что величины L₁, L₂, L₃ ... L_N – числовые значения одного и того же размера у N одинаковых отливок, определённые в результате проведения замеров. Оценку результатов измерений, как правило, проводят следующим путём:

- путём вычисления среднего арифметического значения L и его сравнения с номинальным значением данного размера;
 - путём вычисления линейного отклонения величины L;
 - путём вычисления среднего квадратичного значения размера L.
- Вычисление среднего арифметического значения L производят по формуле:

$$M = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_N}{N} = \overline{L}_1 \quad (16.1)$$

Вычисление линейного отклонения величины L производят по формуле:

$$\sigma_L = \frac{(L_1 - M) + (L_2 - M) + (L_3 - M) + \dots + (L_N - M)}{N} = \overline{L_1 - M} \quad (16.2)$$

где $|\overline{L_1 - M}|$ — абсолютное значение отклонения величины L_1 от её среднего значения M.

Вычисления среднего квадратичного значения размера L производят по формуле:

$$\sigma^2 = \frac{(L_1 - M)^2 + (L_2 - M)^2 + (L_3 - M)^2 + \dots + (L_N - M)^2}{N}$$

или

$$\sigma^2 = \overline{(L_1 - M)^2} = \overline{L_1^2} - \overline{L_1}^2 \quad (16.3)$$

где $\overline{L_1^2}$ — среднее квадратичное всех (N) замеров.

Среднее квадратичное значение в статистических расчётах — величина предпочтительная, поскольку она связана простой зависимостью с основными законами случайного распределения.

Принимая в качестве критерия оценки точности того или иного размера отливок его среднее арифметическое значение или средние квадратичные отклонения, следует иметь в виду, что две совокупности замеров, имеющие одинаковые вышеперечисленные значения рассчитанных параметров, могут иметь значительные различия по величине отдельных результатов. Исходя из этого, для получения наиболее полного представления о группе анализируемых размеров, строят кривую распределения (кривую частот).

Таблица 16.1
Результаты замеров

L, мм	Количество отливок, шт	L, мм	Количество отливок, шт
299,65	2	299,95	54
299,70	3	300,00	57
299,75	2	300,05	60
299,80	5	300,10	40
299,85	25	300,15	38
299,90	30	300,20	10

В качестве примера в табл. 16.1 приведены результаты замеров межлопточного расстояния у N=326 неохлаждаемых турбинных лопаток с номинальной величиной межлопточного расстояния $L_{ном}=300,00$ мм и допусками $L=300_{-0,3}^{+0,1}$, а на рис. 16.1 представлена кривая распределения действительных размеров турбинных лопаток, построенная по данным табл. 16.1 (сплошная линия).

Величина среднего арифметического значения L, рассчитанная по формуле (16.1), на рис. 16.1 обозначена как $M=L_{CP}=300,0066$ мм, величина линейного отклонения величины L, рассчитанная по формуле (16.2), составляет:

$$\sigma_L = |\overline{L_1 - M}| = 0,0842 \text{ мм.}$$

Полученные расчётные значения свиванная партия турбинных лопаток имеет величину M среднего значения лопаток близкую к его номинальному значению $L_{ном}$. Причём величина линейного отклонения величины L, рассчитанная по формуле (16.2), меньше допустимая по формуле клонений размера L, по чертежу (от $L_{мин}=299,7$ до $L_{max}=300,1$), что свидетельствует об относительной стабильности технологии производства данных отливок.

Среднее квадратичное значение размера L, рассчитанное по формуле (16.3), составляет $\sigma^2 = 0,006515$, что значительно меньше единицы и также свидетельствует о стабильности технологического процесса производства данных турбинных лопаток.

Теоретическое значение распределение впервые было определено Гауссом. В настоящее время графическое изображение этой зависимости называют законом нормального распределения, или гауссовой кривой, или кривой погрешностей, или нормальной кривой частотностей.

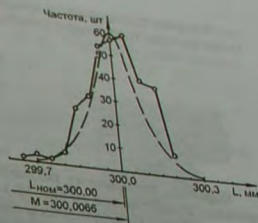


Рис. 16.1. Кривая распределения действительных размеров межлопточного расстояния (L) в неохлаждаемых турбинных лопатках

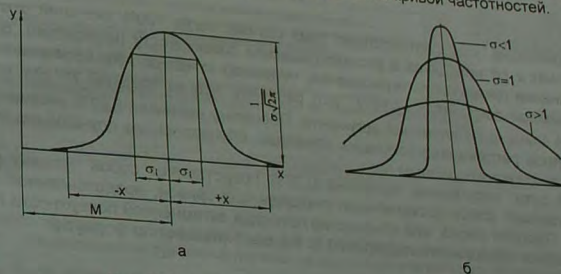


Рис. 16.2. Теоретические кривые распределения

Теоретическая кривая нормального распределения представлена на рис. 16.2, а и определяется функцией:

$$y = f(x) = \frac{1}{e^{\lambda} \cdot \sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \quad (16.4)$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}; \quad A = \frac{(x - M)^2}{2 \cdot \sigma^2}$$

где σ — среднее квадратичное отклонение аргумента x; M — среднее арифметическое распределение; e — основание натурального логарифма; $\pi=3,14$.

В случае расположения теоретической кривой симметрично относительно оси (у) её функция будет иметь следующий вид:

$$y = f(x) = \frac{1}{e^C \cdot \sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}}; \quad (16.5)$$

$$C = \frac{x^2}{2 \cdot \sigma^2}.$$

Кривая распределения, рассчитанная по формуле (16.5) для рассматриваемого примера, представлена на рис. 16.1 в виде пунктирной линии.
 На рис. 16.2,5 представлены теоретические кривые распределения различного вида. Как видно из рис. 16.2,6, вид теоретической кривой всецело зависит от величины σ . С практической точки зрения, это означает, что чем больше величина σ , тем менее стабильно качество отливок и тем менее стабильна технология их производства.
 Площадь поверхности (S) под кривой, ограниченной осью x, рассчитывают по формуле:

$$S = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} dx = 1. \quad (16.6)$$

Значение $S=1$ соответствует тому случаю, когда 100% значений отклонений аргумента (x) находятся в рассматриваемой совокупности (множестве). В случае изменения пределов интегрирования, например от -3σ до $+3\sigma$, величина площади под кривой составит $S=0,9973$. Это означает, что за пределы $x = \pm 3\sigma$ попадает 0,27% значений отклонений аргумента. Поскольку величина 0,27% незначительна, то полное рассеивание величины размеров, обусловленное случайными причинами, можно принять равным 6σ .

По сути, полученная величина 0,27% представляет собой процент риска и представляет собой затемнённую площадь под кривой, представленной на рис. 16.2,а. Процент риска, или отношение площади затемнённой поверхности под кривой к общей поверхности под кривой (в %), рассчитывают по формуле:

$$P = \frac{200}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_x^{\infty} \frac{dx}{e^C}. \quad (16.7)$$

Процесс формирования точности отливки в литье по выплавляемым моделям – один из самых многофакторно-зависимых из всех известных на сегодняшний день промышленных видов литья.

Поскольку, как было отмечено выше, из числа серийно выпускаемых отливок наиболее высокие требования к точности размеров предъявляют к турбинным лопаткам, рассмотрим этот вопрос применительно к данным литым деталям.

Рассматривая вопрос о точности размеров неохлаждаемых турбинных лопаток, получаемых методом литья по выплавляемым моделям, прежде всего следует отметить, что их точность зависит от стабильности размеров моделей и КО, стабильности условий формирования отливки и т.п., то есть стабильности технологического процесса изготовления отливок [124; 241 и др.].

В качестве примера на рис. 16.3 представлена схема изменения линейных размеров модели, рабочей полости КО и отливки неохлаждаемой турбинной лопатки на различных этапах её изготовления (стрелками на рис. 16.3 указано направление изменения размера).

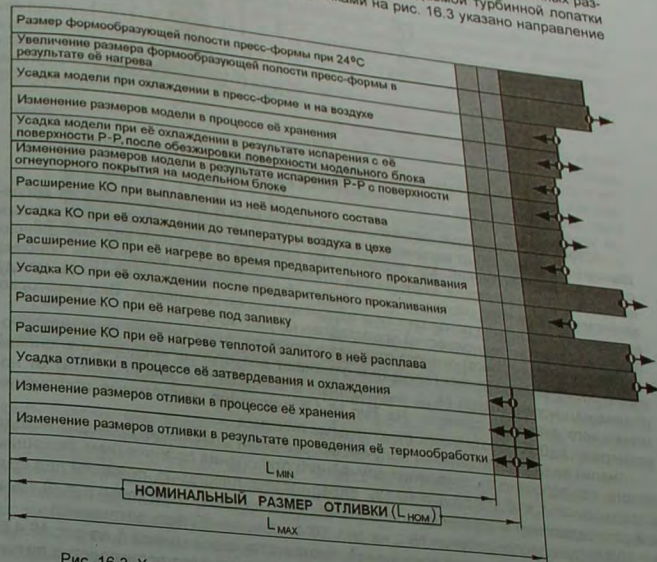


Рис. 16.3. Характер изменения размеров модели, рабочей полости КО и отливки неохлаждаемой турбинной лопатки на различных этапах её изготовления

Как было отмечено выше, для проведения оценки стабильности принятого в цехе технологического процесса следует выбрать отливку-представителя и определить величины отклонений её двух-трёх размеров в пределах нескольких партий.

Применительно к турбинным лопаткам, такими данными могут быть отклонения размера по бандажной полке со стороны спинки, отклонения размера по бандажной полке со стороны полки хвостовика и (или) отклонения размера межполочного расстояния (отклонение Δ_L размера межполочного расстояния L см. на рис. 16.4,а).

При наборе статистических данных рассмотрению подлежат только те отливки, которые были изготовлены без отступлений от принятой в цехе технологии. То есть отливки, которые были получены с использованием одинаковой ЛПС, модельного состава одной марки, одинаковых огнеупорных и связующих материалов, режимов сушки слоёв огнеупорного покрытия на модельных блоках и т.п. Набор данных ре-

рекомендуется проводить за годичный период производства отливок. Рекомендуемый объём выборки должен быть не менее 150 отливок.

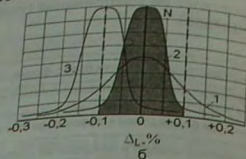
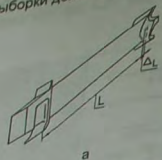


Рис. 16.4. Общий вид турбинной лопатки (а) и виды распределений отклонений размера L в отливках (б)

Используя полученные данные, строят графическую зависимость числа обследованных отливок (N) от величины отклонений (ΔL), исследуемого размера отливки от его среднего значения. Как правило, при достаточно большом массиве данных построенная графическая зависимость отклонений размера может быть описана законом нормального распределения, который устанавливает зависимость между значениями случайной погрешности и вероятностью её появления. Вид некоторых таких графических зависимостей представлен на рис. 16.4, б.

На оси абсцисс построенного графика в качестве точки отсчёта принимают номинальный размер отливки (точка 0) и отмечают допустимые пределы отклонений от номинального размера (ΔL_n), выраженные в миллиметрах или процентах от номинального значения размера. На рис. 16.4, б, например, допустимые отклонения размера $\Delta L_n \pm 0,1\%$ обозначены пунктирными линиями.

Анализ вида распределения случайного отклонения со значением, лежащим из того, что вероятность появления полученного значения отклонения, лежащего под кривой в пределах от $\Delta L = -0,1\%$ до $\Delta L = +0,1\%$, определяется площадью, лежащей под кривой распределения № 2 на рис. 16.4 — данная область затемнена).

Характер распределения отклонений, соответствующий кривой 1 на рис. 16.4, б, свидетельствует о нестабильности технологического процесса производства литья, поскольку значительная часть отливок, получаемых по данной технологии, не соответствует требованиям по размерной точности. Поэтому данная технология и условия производства литья требуют принятия соответствующих мер, направленных на ужесточение требований к условиям производства литья, качеству используемых материалов, технологической дисциплине.

Характер распределения отклонений, соответствующий кривой 2, характеризует технологию производства литья как стабильную, где подавляющее количество получаемых отливок имеет отклонения контролируемого размера в допустимых пределах.

Распределение отклонений, соответствующее кривой 3, характеризует технологию производства литья как стабильную, где, однако, значительное количество получаемых отливок, имеет недопустимое отклонение контролируемого размера (L). Смещение центра распределения 3 (влево или вправо) относительно ординаты точки 0 (номинального размера отливки) свидетельствует о присутствии в технологическом параметре (параметров, факторов), приводящего к систематической погрешности размера. В этом случае следует обратить внимание на размер рабочей полости

пресс-формы, на свойства (величину свободной линейной усадки) модельного состава, условия изготовления моделей, температуру воздуха в модельном отделении и помещении хранения моделей и модельных блоков в модельном отделении.

Причины получения характера распределения отклонений размера отливки эти причины могут быть и результатом использования пресс-форм с неконтролируемой температурой, что приводит к получению моделей с различной величиной усадки. Температуру пресс-формы в таком случае контролирует модельщик на интуитивном уровне, используя естественное воздушное охлаждение моделища на форм, охлаждение пресс-формы в воде или на холодильной плите.

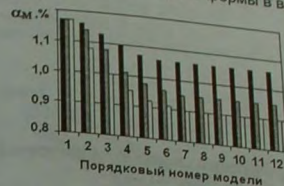


Рис. 16.5. Изменения величины свободной линейной усадки моделей из состава ВИАМ-102 в зависимости от порядкового номера их изготовления в пресс-форме

Работы по исследованию влияния температуры воздуха в помещении и начальной температуры стальной пресс-формы состава ВИАМ-102 на величину изменения моделища проводили при температуре $61 \pm 1^\circ\text{C}$ с выдержкой моделей в пресс-форме 30 с. При этом, периодичность запрессовки пресс-формы составляла 40 с (серые полосы) и 420 с (чёрные полосы).

Анализ данных, представленных на рис. 16.5, показывает, что относительная стабильность усадки исследуемых моделей наблюдается после пятой-седьмой запрессовки модельного состава в пресс-форму, то есть после достижения пресс-формой определённой температуры. При этом увеличение интервала времени между последовательными запрессовками модельного состава в пресс-форму не позволяет прогреть пресс-форму до оптимальной температуры, что приводит к повышенным значениям усадки моделей.

Размерная точность отливок, получаемых методом литья по выплавляемым моделям, предопределяется размерной точностью рабочих полостей используемых пресс-форм. То есть отклонение какого-либо размера рабочей полости в пресс-форме от необходимой величины адекватно сказывается на изменении данного размера отливки. Причём характер отклонений размера отливки будет постоянным и практически равен величине отклонения данного размера в пресс-форме. Как правило, именно неправильное выполнение размера рабочей полости пресс-формы приводит к распределению отклонений размера, центр которого не совпадает с номинальным размером (ординатой точки 0), что соответствует кривой 3 на рис. 16.4, б.

В основном, ошибка в назначении размеров рабочих полостей пресс-формы вызвана принятием для расчётов неточных значений величин коэффициентов усадки, модельного состава и сплава отливки для различных стенок отливки, величины которых, в свою очередь, при всех прочих равных условиях, предопределяются толщиной, протяжённостью и криволинейностью этих стенок.

То есть различные элементы, и модели, и отливки имеют различную величину усадки которая зависит как от степени ее затрудненности (заторможенности) в этих элементах, так и интенсивности теплоотвода от этих элементов в процессе изготовления модели и отливки.

Если, при всех прочих равных условиях, рассматривать соотношения коэффициентов теплоаккумулирующей способности (b) системы модель-пресс-форма и отливка-КО, как одну из характеристик, определяющих интенсивность затвердевания и охлаждения модели и отливки, то для системы модель – пресс-форма:

$$\frac{b_M}{b_{ПФ}} \leq 1; \quad (16.8)$$

для системы отливка – КО:

$$\frac{b_O}{b_{КО}} \gg 1, \quad (16.9)$$

где b_M , $b_{ПФ}$, b_O , $b_{КО}$ – коэффициенты теплоаккумулирующей способности материала модели, пресс-формы, отливки и КО соответственно, Вт·с^{0.5}/(м²·К). При этом в моделях величина усадки снижается при условии:

$$\frac{b_M}{b_{ПФ}} \rightarrow 1. \quad (16.10)$$

В отливках, величина усадки снижается при условии:

$$\frac{b_O}{b_{КО}} \rightarrow \infty. \quad (16.11)$$

В табл. 16.2 приведены данные средних величин свободной линейной усадки моделей (α_M) из модельного состава КС-111, изготовленных в пресс-формах из материалов с различной теплоаккумулирующей способностью.

Таблица 16.2
Средние значения величин свободной линейной усадки моделей, изготовленных из модельного состава КС-111

Материал пресс-формы	$b_{ПФ}$ при 20°C, Вт·с ^{0.5} /(м·К)	$b_M/b_{ПФ}$	$\alpha_M, \%$
Сплав алюминиевый (Al-Si)	23000	0,0314	0,67
Сталь углеродистая	21400	0,0338	0,67
Цинк	17000	0,0423	0,60
Фторопласт-4	2400	0,301	0,43
Смола эпоксидная полимеризованная	630	1,148	0,42

Анализ данных, приведенных в табл.16.2, показывает, что с уменьшением коэффициента теплоаккумулирующей способности материала пресс-формы (понижением интенсивности теплоотдачи от модельного состава к пресс-форме) величина свободной линейной усадки моделей, понижается.

Величина свободной линейной усадки как от параметров запрессовки (температуры модели и ее различных частей зависит в пресс-форму, так и от их гометрических размеров и формы.

Влияние размеров модели и величины давления модельного состава на величину свободной линейной усадки моделей, исследовали на образце, схема которого представлена на рис. 16.6.

Для упрощения описания результатов исследований каждый элемент модели (стержень) условно обозначили соответствующими буквами А (200×10×10 мм), В (200×10×5 мм), С (100×10×5 мм) и D (100×10×10 мм).

В исследованиях использовали модельный состав марки PARACAST FW 352 и модельный состав марки КС-111. В качестве эталонного модельного материала использовали водорастворимый сплав карбамида с 2% (по массе) спирта поливинилового и 2,5% магна серноокислого.

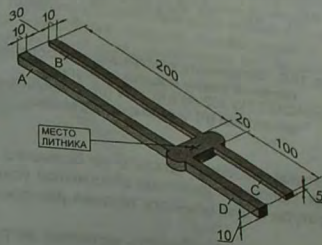


Рис. 16.6. Схема Н-образного образца

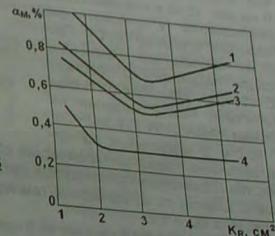


Рис. 16.7. Зависимости коэффициента свободной линейной усадки стержней H-образной модели от параметра K_R

Зависимости коэффициента свободной линейной усадки стержней модели из модельного состава PARACAST FW 352 (кривая 1 – температура запрессовки модельного состава в пресс-форму 61±1°C) и КС-111 (кривая 2 – температура запрессовки модельного состава в пресс-форму 70±1°C, кривая 3 – температура запрессовки модельного состава в пресс-форму 55±1°C), а также водорастворимого сплава (кривая 4 – свободная заливка) от величины параметра K_R представлены на рис. 16.7.

$$K_R = \frac{z_M \cdot U}{S}, \quad (16.12)$$

где z_M – длина рабочей полости пресс-формы (стержня), см, U и S – объем (см³) и площадь (см²) поверхности охлаждения стержня в пресс-форме соответственно.

Анализ хода кривых, представленных на рис. 16.7, свидетельствует, что наиболее стабильной усадкой из числа исследованных материалов обладает водорастворимый сплав на основе карбамида. Менее стабильной усадкой обладают исследованные модельные составы. При этом модельный состав КС-111 имеет более низкий коэффициент свободной линейной усадки, чем модельный состав PARACAST FW 352, и низкую чувствительность коэффициента свободной линейной

усадки к изменению температуры запрессовки в пределах от 55°С до 70°С (см. кривую 2 и 3 на рис. 16.7).

Зависимость величины свободной линейной усадки модельных составов PARACAST FW 352 и KC-111 от величины давления запрессовки модельного состава в пресс-форму представлена на рис. 16.8,а и рис. 16.8,б, соответственно.

Анализ хода кривых, представленных на рис. 16.8,а, показывает, что величина свободной линейной усадки модельного состава PARACAST FW 352, с повышением давления запрессовки, существенно уменьшается для "протяжённо-уменьшен" стержней А и В на рис. 16.6) и незначительно уменьшается у относительно "коротких" стержней (С, D). При этом абсолютная величина усадки моделей из состава KC-111 (см. рис. 16.8,б) более стабильна, чем у моделей из состава PARACAST FW 352.

Как и у модельных составов, величина усадки металлических сплавов зависит от достаточно большого количества параметров производства литья. Например, величина абсолютной усадки отливок зависит от их размеров, температуры и длительности течения расплава в КО, свойств КО и т.п.

В качестве примера на рис. 16.9 представлена зависимость величины затруднённой линейной усадки никелевого сплава ЖС-ЗДК от протяжённости отливки (1) и толщины её стенки (δ). В исследованиях [241] использовали отливки, имеющие в поперечном сечении форму двутавра. Ширина всех исследованных отливок составляла 50 мм.

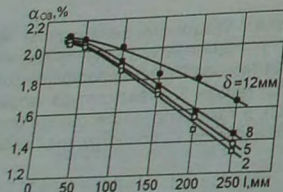


Рис. 16.9. Зависимость величины затруднённой линейной усадки отливок из сплава ЖС-ЗДК от протяжённости отливки и толщины её стенки

особенностей и габаритных размеров, с учётом свойств материала пресс-формы и т.п. Тем не менее, таких данных для большинства используемых модельных составов и металлических сплавов не существует, а для расчётов размеров рабочих полостей пресс-форм используют усреднённые данные коэффициентов усадки. В результате, как правило, пресс-формы в процессе эксплуатации подвергают "довод-

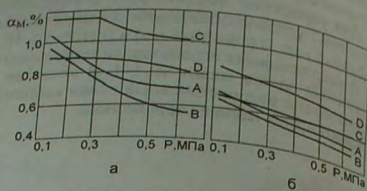


Рис. 16.8. Зависимость коэффициента свободной линейной усадки модельных составов PARACAST FW 352 (а) и KC-111 (б) от давления запрессовки (P) и размеров образцов

Как видно из рис. 16.9, величина затруднённой линейной усадки отливок (α_{оз}) изменяется в достаточно широких пределах и уменьшается с увеличением протяжённости стенки отливки и уменьшением её толщины.

Таким образом, при расчёте размеров рабочих полостей пресс-форм, величины усадок модельного состава для каждого элемента модели и отливки должны назначаться дифференцированно, в зависимости от условий изготовления моделей и отливок, их конструктивных

ке" по отдельным размерам либо увеличивают пределы допусков отклонений на различные размеры отливки.

Точность формы. Если под номинальной поверхностью понимать поверхность идеальной детали, то отклонение формы поверхности реальной отливки от номинальной поверхности идеальной детали принято оценивать как отклонение формы. Величину отклонения формы поверхности реальной отливки от номинальной поверхности идеальной детали называют отклонением формы.

Отклонения формы поверхности реальной отливки от номинальной поверхности идеальной детали называют отклонением формы. Величину отклонения формы поверхности реальной отливки от номинальной поверхности идеальной детали называют отклонением формы. Величину отклонения формы поверхности реальной отливки от номинальной поверхности идеальной детали называют отклонением формы. Величину отклонения формы поверхности реальной отливки от номинальной поверхности идеальной детали называют отклонением формы.

Наиболее частой причиной возникновения погрешности формы отливок является коробление моделей, происходящее в процессе хранения и нанесения огнеупорного покрытия, коробление КО, происходящее в процессе её прокаливания,

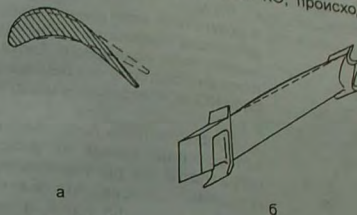


Рис. 16.10. Погрешности точности формы турбинных лопаток

16.10. Пунктирной линией на рис. 16.10 обозначена форма профиля пера идеальной турбинной лопатки (см. рис. 16.10,а) и её выходной кромки (см. рис. 16.10,б).

Точность расположения элементов. Под отклонением расположения элементов отливки (оси, плоскости расположения конкретного реального элемента детали, которое определяется номинальными линейными и угловыми размерами между элементом и базами. Таким образом, к отклонениям расположения элементов относят отклонения параллельности, перпендикулярности, соосности, симметричности, позиционное и отклонение от пересечения осей.

В литье по выплавляемым моделям наиболее частым случаем отклонения расположения в моделях и, следовательно, в отливках, является смещение элементов по плоскости разреза пресс-формы. Применительно к турбинным лопаткам, нарушение точности расположения элементов в отливке, произошедшее в результате смещения полужонков пресс-формы (по одной из её осей), иллюстрируется схемой, представленной на рис. 16.11.

На рис. 16.11 пунктирной линией обозначены контуры идеального профиля лопатки, а величина смещения элементов в реальной лопатке обозначена Δ_c . При достаточной длительности эксплуатации точно величина смещения пресс-форм может достигать 0,1...0,2 мм. Наиболее значительные отклонения данного типа наблюдаются у моделей, изготовленных в многочисленных ручных пресс-формах с съёмными частями.



Рис. 16.11. Схема неточности расположения элементов отливки

Неровности поверхности. По величине неровности занимают промежуточное положение между шероховатостью и отклонениями формы. По внешнему виду неровности поверхности представляют собой единичные или повторяющиеся выступы и впадины компактной или протяжённой формы. Высота таких неровностей (рис. 16.12, а) представлено сечение пера турбинной лопатки, а на рис. 16.12, б изображены неровности её поверхности. Данные неровности, как правило, образуются в результате нарушения температурного режима хранения модели или модельного блока, локального отслоения лицевого слоя КО от поверхности модели и т.п.

В результате нарушения температурного режима хранения модели или модельного блока, локального отслоения лицевого слоя КО от поверхности модели и т.п.

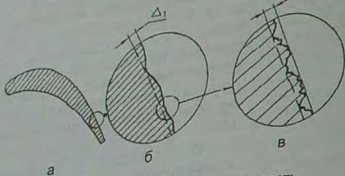


Рис. 16.12. Неровность и шероховатость поверхности

Шероховатость поверхности отливок, получаемых по технологии литья по выплавляемым моделям, зависит от значительного числа факторов в частности: чистоты поверхности и материала пресс-формы, её температуры, свойств и толщины слоя используемого смазочного материала для пресс-формы, свойств используемого модельного состава, качества его подготовки и параметров запрессовки в пресс-форму, качества и свойств используемой огнеупорной суспензии, количества используемого в огнеупорной суспензии пылевидного материала и формы его зёрен, природы используемых материалов огнеупорной суспензии, условий сушки огнеупорного покрытия на модельном блоке, стабильности свойств огнеупорной суспензии, химической инертности материалов лицевого (первого) слоя КО по отношению к заливаемому в КО расплаву и т.п.

Шероховатость литой поверхности отливок, получаемых методом литья по выплавляемым моделям, находится в пределах от $Rz = 20$ до $Ra = 1,25$, что соответствует высоте микронеровностей поверхности от $\Delta_2 = 20$ до $\Delta_2 = 1,25$ мкм (см. рис. 16.12, в) соответственно.

Шероховатость поверхности контролируют на базовой длине отливки в соответствии с ГОСТ 2789-73. Требуемая величина шероховатости литой поверхности турбинных лопаток должна соответствовать $Ra=1,25$.

При всех прочих равных условиях, шероховатость поверхности отливок в литье по выплавляемым моделям определяется чистотой поверхности пресс-формы, мо-

дели и лицевого слоя КО. Из перечисленных объектов наиболее проблематично обеспечение требуемой чистоты поверхности лицевого слоя КО, которая зависит от дисперсности и формы частиц пылевидного наполнителя огнеупорной суспензии, его количества в суспензии, условий подготовки пылевидного огнеупорной суспензии, природы связующего материала суспензии и связующего материала суспензии и т.п.

Для повышения чистоты поверхности отливок в огнеупорной суспензии лицевого слоя КО следует использовать пылевидный материал с округлой формой частиц. То есть для приготовления огнеупорной суспензии следует использовать пылевидный материал, прошедший в процессе изготовления, помимо струйного помола, помол в шаровой мельнице. Кроме того, при всех прочих равных условиях, для получения отливок с чистой поверхностью, соответствующей 3-му...5-му классу, пылевидный материал, непосредственно перед использованием, следует просеять через сито № 0063, а для получения отливок с чистой поверхностью, соответствующей 6-му или 7-му классу, пылевидный материал следует предварительно прокалить и просеять через сито № 005.

Как было отмечено выше, при всех прочих равных условиях, шероховатость поверхности отливки зависит от технологии предварительной подготовки пылевидного материала и способа приготовления предварительной подготовки пылевидного материала и способа приготовления предварительной подготовки пылевидного материала и т.п.

В работе [217] приведены данные о шероховатости направленно-закристаллизованных турбинных лопаток с длинными размерами до 400 мм, КО которых были изготовлены из следующих материалов:

Вариант 1. Связующее для всех слоёв КО – гидролизанный раствор этилсиликата при мольном соотношении $M=0,20...0,25$. Наполнитель суспензии для слоёв № 1...№ 3 – дистен-силлиманит, прокалённый при 950°C.

Вариант 2. Связующее для всех слоёв КО – гидролизанный раствор этилсиликата при мольном соотношении $M=0,20...0,25$. Наполнитель суспензии для слоёв № 1...№ 3 – дистен-силлиманит, прокалённый при 1430°C.

Вариант 3. Связующее для всех слоёв КО – гидролизанный раствор этилсиликата при мольном соотношении $M=0,50...0,55$. Наполнитель суспензии для слоёв № 1...№ 3 – дистен-силлиманит, прокалённый при 950°C.

Во всех вариантах наполнитель огнеупорной суспензии для четвертого и последующих слоёв КО – микропорошки электрокорунда. Обсыпка слоёв КО – зернистый электрокорунд.

Установлено, что лопатки, полученные в КО, изготовленные по варианту № 1 имели шероховатость поверхности, соответствующую 6-му классу, по варианту изготовления КО № 2, отливки имели шероховатость, соответствующую 6-му...7-му классу, а уровень шероховатости отливок, полученных в КО, изготовленных по варианту № 3, соответствовал 5-му...6-му классу.

По сравнению с вариантом № 1, повышения чистоты поверхности отливок, полученных в КО по варианту № 2, по-видимому, удалось достичь за счёт использования более мелкой фракции пылевидного наполнителя суспензии, поскольку, в процессе предварительного обжига при 1200...1300°C частицы дистен-силлиманита измельчаются с образованием муллита и кристобаллита.

По сравнению с вариантом № 1, понижение чистоты поверхности в отливках, полученных в КО по варианту № 3, по-видимому, произошло за счёт получения более шероховатой поверхности лицевого слоя КО, вызванной большей величиной мольного соотношения ГРЭС в приготовленной суспензии.

Специфическим поверхностным дефектом литья по выплавляемым моделям является сыпь (дефект обозначен цифрой 1 на рис. 16.13, а). Сыпь (металлическая пыль) представляет собой металлические выступы на поверхности отливки, размером (Δ_3) и по форме напоминающие песчинки. Причиной образования данного де-

факта является так называемый "пробой" огнеупорной суспензии лицевого слоя покрытия модельного блока при его обсыпке зернистым материалом. В свою очередь, пробой лицевого материала со значительной долей использования для обсыпки зернистого огнеупорной суспензии с низкой вязкостью, недостаточных фракций, использования огнеупорной суспензии, нарушения в суспензии количества в суспензии ПЛВ, недостаточно хорошей обезжиривания поверхностного материала модельного блока, неоднородной составляющей может произойти в суспензии модельного блока, жидкой и твердой составляющей для приготовления суспензии соотношения жидкой и твердой составляющей в суспензии соотношения жидкой и твердой составляющей при использовании пылевидного материала с формой частиц осколочного типа, или низкой седиментационной устойчивости суспензии. Следует отметить, что нарушение соотношения количества жидкой и твердой составляющей огнеупорной суспензии, приводит не только к появлению и твердой составляющей огнеупорной суспензии, является одной из причин существенных отклонений размеров и по-

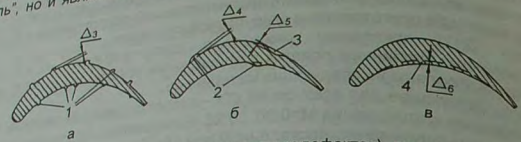


Рис. 16.13. Схемы неровностей (поверхностных дефектов) литых поверхностей

вышения шероховатости поверхности отливок, понижения термостойкости, прочности КО и осыпаемости её лицевого слоя.

Одним из видов неровностей поверхности отливок являются локальные выступы и впадины (утяжины). Высота неровностей (Δ_4), как и глубина утяжин (Δ_5), может достигать 0,5 мм при размерах (диаметре), в плане, до 5 мм.

Локальные выступы (дефект обозначен цифрой 2 на рис. 16.13,б) образуются после извлечения модели из пресс-формы. При этом длительность появления дефекта на поверхности модели может составлять от долей минуты до нескольких часов. Помимо этого, выступы могут образовываться в процессе сушки первого слоя огнеупорного покрытия на модельном блоке при использовании вакуума.

Основной причиной возникновения локальных выступов является локальная деформация поверхностного слоя модели под давлением сжатого воздуха в воздушных пузырьках, случайно замешанных при подготовке модельного состава к запрессовке в пресс-форму.

Утяжины (дефект обозначен цифрой 3 на рис. 16.13,б) образуются при затвердевании и охлаждении модели в пресс-форме или при охлаждении модели на воздухе (после извлечения из пресс-формы). Как правило, основной причиной появления утяжин в моделях, изготовленных из модельного состава, не содержащего воздух, является сам модельный состав, материал которого в пастообразном состоянии характеризуется низкой величиной сжимаемости. Следует отметить, что утяжины могут образовываться и в отливке при её затвердевании.

Образование неровностей (выступов) значительных размеров на поверхности отливки может быть вызвано локальным отслоением лицевого слоя КО от поверхности модели в период его сушки или деформацией КО под воздействием металлостатического напора расплава, залитого КО. В результате вдоль пера лопатки, со-

стороны "корыта", образуется утолщение центральной части тела лопатки величиной Δ_6 шириной и протяженностью до десятков миллиметров (дефект обозначен цифрой 4 на рис. 16.13,в).

Литейный припуск. Практически любая отливка имеет какие-либо поверхностные дефекты. В зависимости от требований, предъявляемых к литой поверхности, такими дефектами могут быть: засор, окисная пленка, литейная коррозия (у отливок из высоколегированных хромоникелевых сталей, жаропрочных никелевых сплавов и пр.), сви, трещина, междендритная пористость, обезуглероживание или науглероживание поверхностный слой и т.п. Исходя из предположения о возможности появления поверхностных дефектов и их размеров, на отливках назначают со-

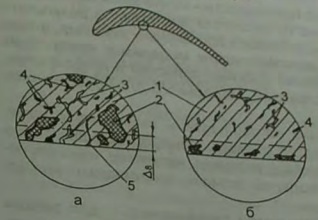


Рис. 16.14. Схемы расположения дефектов в поверхностном слое отливок

Величина назначаемого литейного припуска должна быть больше глубины залегания в поверхностном слое отливки гипотетического дефектного слоя металла отливки, являющийся литейным припуском, с поверхности отливки удаляют.

На рис. 16.14 представлены схемы некоторых видов дефектов и их расположение в поверхностном слое отливок из жаропрочных никелевых сплавов. Толщина слоя поверхностного слоя металла, образующего литейный припуск, на рис. 16.14 обозначена Δ_6 .

На рис. 16.14,а представлена схема расположения структурных составляющих некачественной отливки, в которой засоры 2, междендритная пористость 3, карбонитриды 4 и окисная пленка 5 превышают толщину литейного припуска. В данном случае, после удаления с поверхности отливки литейного припуска, все вышелечисленные дефекты останутся на поверхности детали и будут выявлены на ЛЮМ-контроле.

Схема представленная на рис. 16.14,б соответствует поверхности относительно качественной отливки, у которой глубина залегания поверхностных засоров 2 в металле отливки 1 не превышает величины литейного припуска, а все другие дефекты располагаются глубоко в теле отливки.

Литейный припуск – вынужденная мера, неизбежная погрешность, преднамеренно созданное отклонение от номинального размера. Тем не менее, развитие авиационной техники уже на сегодняшний день требует высококачественных турбинных лопаток, не имеющих литейного припуска.

Стремление получения качественных отливок без припусков ("в размер") обусловлено не только сокращением объема последующей механической обработки отливки и повышением её точности, но и увеличением эксплуатационных свойств литой детали.

Практика работы с литыми деталями свидетельствует, что детали с литой поверхностью характеризуются более высокой надежностью и долговечностью в работе, чем литые детали с механически обработанной поверхностью. В частности, сравнение эксплуатационные свойства отливок лопаток турбин из сплавов ЖС-6К и ЖС-3ЛС с литой и шлифованной поверхностью, авторы работы [54] отмечают, что отливки с литой поверхностью, термически обработанные в вакууме или аргоне,

имеют на 5...10% более высокую длительную прочность, чем отливки со шлифованной поверхностью.

Точность массы отливки. Точность массы отливки, реального химического состава и плотности сплава от идеальной, а также отклонения объема реальной отливки от плотности сплава от идеальной величины. То есть чем меньше погрешность — отклонение параметра от идеальной величины, тем выше её точность.

Погрешность. Антонимом понятия точности является погрешность — отклонение параметра от идеальной величины, тем выше её точность.

Применительно к партии отливок, все погрешности объединяют в четыре группы:

Группа 1. Систематические постоянные погрешности — отклонения одинакового значения для всей партии отливок. Данные погрешности возникают в результате воздействия фактора или группы факторов, имеющих постоянные значения, в процессе изготовления отливок. В литье по выплавляемым моделям к числу таких факторов относятся: неправильное выполнение рабочих полостей в пресс-форме, дефекты пресс-формы, неправильная конструкция модельного блока, нетехнологичная конструкция отливки и т.п.

Группа 2. Систематические переменные погрешности — закономерно изменяющиеся отклонения в процессе производства отливок. Данные погрешности неуклонно возрастают от партии к партии отливок и вызваны, например, износом используемых пресс-форм для производства моделей отливок, керамических или водорастворимых стержней и др.

Группа 3. Случайные погрешности (погрешности рассеивания) — для разных партий отливок принимают различные значения. Появление случайных погрешностей вызвано определёнными отклонениями значений технологических параметров и свойств используемых материалов от среднего значения. Например, случайные погрешности могут быть вызваны нестабильностью усадки модели и сплава отливки, нестабильностью расширения КО при прокаливании, нестабильностью температуры заливки металла в КО и т.п.

Группа 4. Промахи или оплошности — грубая случайная погрешность, вызванная низкой квалификацией или небрежностью исполнителя. Данные погрешности носят эпизодический характер и могут быть, например, результатом плохой подготовки и сборки пресс-формы, чрезмерного силового воздействия на модель отливки при её извлечении из пресс-формы, случайного попадания капель жидкого модельного состава на поверхность модели при монтаже модельного блока, сколов на торцах модели при удалении с них облоя, неправильной сборки модельного блока, умышленного нарушения технологического процесса, работы на оборудовании с неисправной контрольно-измерительной аппаратурой и т.д.

Погрешности группы 1 и 2 достаточно просто выявляются и устраняются. Погрешности группы 4 устраняются соответствующими организационными мероприятиями, подбором кадров и повышением их квалификации.

Наиболее проблематичным является предупреждение возникновения погрешностей группы 3. Проблематичность состоит в том, что в многоступенчатом процессе производства литья по выплавляемым моделям задействовано большое количество материалов и выполняется значительное число технологических операций, предопределяющих точность получаемого литья.

В качестве примера рассмотрим условия формирования точности неохлаждаемых турбинных лопаток из жаропрочных никелевых сплавов.

Технологическим процессом производства неохлаждаемых турбинных лопаток предусмотрено выполнение технологических операций, название и последовательность которых представлены в виде схемы на рис. 16.15.

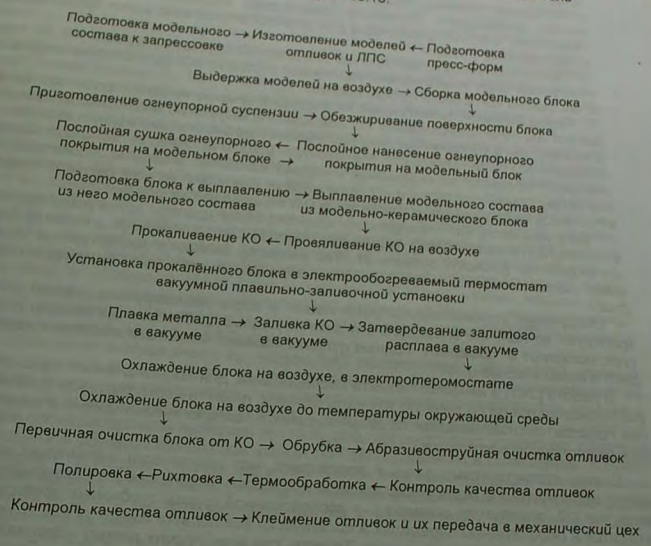


Рис. 16.15. Технологическая схема изготовления неохлаждаемых турбинных лопаток

Согласно схеме, представленной на рис. 16.15, на первом этапе производства, после проведения соответствующей подготовки пресс-формы (очистки и смазки рабочих поверхностей разделительной подготовки пресс-формы) и модельного состава (расплавления и доведения его до пастообразного или жидкого состояния), изготавливают модели отливок и элементы ЛПС. При этом поверхность моделей ЛПС покрывают тонким (0,1...0,2 мм) слоем парафина.

Изготовленные модели охлаждают и выдерживают на воздухе при определённой температуре (при 24...27°C) в течение суток, после чего собирают модельный блок. Непосредственно перед нанесением огнеупорного покрытия поверхность модельного блока обезжиривают. Операция обезжиривания состоит в двух-трёхкратном окутании модельного блока в растворитель органического происхождения, например, изопропиловый спирт. После обезжиривания модельный блок выдерживают на воздухе до полного испарения растворителя с поверхности блока.

По окончании испарения растворителя в модельный блок последно наносят и сушат слой огнеупорного покрытия. Для изготовления КО, как правило, используют огнеупорные суспензии, приготовленные на основе ГРЭС и/или кремнезёма. В качестве пылевидного материала огнеупорной суспензии используют диоксид силлиманит или электрокорунд, а для обсыпки блоков используют белый электрокорунд крупных фракций.

После окончания сушки последнего слоя КО проводят подрезку КО по торцу литниковой чаши и выплавляют модельный состав из КО. Выплавление модельного состава из КО проводят в вакуумной плавильной установке на воздухе в течение не менее суток КО помещают в вакуумную установку, где при начальной температуре 980±20°C. Залитая металлом до окончания процесса затвердевания расплава находится в вакууме. После окончания затвердевания металла в КО залитый блок извлекают из установки и охлаждают на воздухе до комнатной температуры по определённому режиму.

Большую часть КО с поверхности залитого блока удаляют путём постукивания молотком по литникам блока (первичная очистка). После первичной очистки проводят отделение (отрезку) отливок от ЛПС и очистку отливок в пескоструйной установке с использованием мелкозернистого абразивного материала (вторичная очистка).

Очищенные отливки термообрабатывают и после пескоструйной очистки контролируют на наличие внешних и внутренних дефектов. Отобранные отливки рихтуют, полируют и обмеряют. Годные отливки клеят кислотным клеем и перемещают в механические цехи.

В работе [241] в качестве объекта исследования, для оценки влияния параметров производства на размерную точность отливок, принята неохлаждаемая турбинная лопатка, изготавливаемая по вышеописанной технологической схеме и имеющая межлопачное расстояние $L = 300_{-0,3}^{+0,1}$ мм.

Анализ статистических данных показывает, что практически независимо от класса используемого модельного состава и природы используемого связующего вещества КО, отклонения размера L у исследованной группы турбинных лопаток находятся в определённых пределах и практически все лопатки имеют ту или иную степень коробления выходной кромки. То есть, при всех прочих равных условиях, основными причинами нарушения размерной точности лопаток являются факторы, заложенные в технологии, свойствах используемых материалов и условиях производства литья.

Оценку степени влияния основных параметров используемых материалов и технологии производства турбинных лопаток на величину отклонения их размеров авторы работы [241] проводили путём расчёта по следующей методике.

Абсолютную величину усадки отливки (Δ_0) рассчитывали с учётом усадки модельного состава при охлаждении модели (Δ_M), расширения КО при нагреве под заливку ($\Delta_{КО}$) и усадки сплава при охлаждении отливки (Δ_C) по формулам:

$$\Delta_0 = \Delta_C - \Delta_{КО} + \Delta_M; \quad (16.13)$$

$$\Delta_C = K_C \cdot (t_5 - 20) \cdot (Z_{ПФ} - \Delta_{КО} + \Delta_M) \cdot K_{УО} \cdot K_{ZO}; \quad (16.14)$$

$$\Delta_{КО} = K_{КО} \cdot (t - 20) \cdot (Z_{ПФ} - \Delta_M); \quad (16.15)$$

$$t = b_C [0,5 \cdot (t_{теч} + t_2)]^{0,5} / b_2 + t_2; \quad (16.16)$$

$$\Delta_M = K_M \cdot Z_{ПФ} \cdot K_{У} \cdot K_2 \cdot (t_1 - t_0),$$

где Δ_C и Δ_M – величина усадки сплава отливки и модели при затвердевании и охлаждении КО при температуре воздуха в цехе соответственно, мм; $\Delta_{КО}$ – величина расширения рабочей полости пресс-формы данного элемента отливки, мм; t_5 – температура расплава сплава отливки, °C; $t_{теч}$ – температура течения расплава в КО (при заливке КО из тигля печи, величину $t_{теч}$ допустимо принять равной температуре выпуска металла из печи), °C; t_2 – температура КО в момент заливки расплавом, °C; t_1 и t_0 – температура модельного состава при запрессовке в пресс-форму и температура воздуха в отделении нанесения огнеупорного покрытия на пресс-форму и температура лавы сплава отливки и КО соответственно, Вт·с^{0,5}/(м²·°C); K_C , $K_{КО}$ и K_M – коэффициенты термического линейного расширения сплава отливки, КО и модельного состава соответственно, °C⁻¹; $K_{У}$ – коэффициент расширения сплава отливки, КО и модельного состава соответственно, °C⁻¹; $K_{УО}$ – коэффициент расширения сплава отливки, КО и модельного состава при свободной усадке модели, $K_{УО} = 1$ – при свободной усадке модели, $K_{УО} = 0,35 \dots 0,47$ – при абсолютной затруднённой усадке модели; $K_{УО}$ – коэффициент нённой усадке отливки; K_2 – коэффициент, учитывающий влияние на усадку модельной свойст материала пресс-формы, толщины и длины стенки модели ($K_2 = 0,6 \dots 1,2$); K_2 о – коэффициент, учитывающий влияние на усадку отливки температуры и длительности течения расплава в КО, свойств материала КО, толщины и длины стенки отливки (K_2 о = 0,7...1,1).

Значения коэффициента $K_{У} = 0,35 \dots 0,47$ соответствуют абсолютной (полной) затруднённой усадке модели. В действительности модель отливки извлекают из пресс-формы при температуре, несколько превышающей температуру воздуха в цехе, не позволяя модели охладиться в пресс-форме до её температуры. Поэтому для расчётов приняты значения $K_{У} = 0,4 \dots 0,6$, что учитывает изменение размеров модели в условиях смешанной усадки при затвердевании и охлаждении в пресс-форме и на воздухе. По сути, величина $K_{У}$ при всех прочих равных условиях, отражает влияние неравномерности и длительности выдержки модели в пресс-форме, нестабильности температуры пресс-формы от запрессовки к запрессовке в неё модельного состава.

Для оценки степени влияния основных параметров производства на стабильность размерной точности отливок были приняты следующие пределы изменения этих параметров:

- для модельного состава (свободная линейная усадка при охлаждении составляет $\alpha_M = 0,60 \dots 0,64\%$) – $t_5 = 55 \dots 63^\circ\text{C}$, $t_0 = 20 \dots 30^\circ\text{C}$, $K_M = (150 \dots 160) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;

- для КО, изготовленной на основе гидролизованного раствора этилсиликата, пылевидного диоксид-силлиманита и беголо зернистого электрокорунда (линейное расширение при нагреве от 20°C до 1020°C составляет $\alpha_{КО} = 0,90 \dots 0,94\%$) – $t_{КО} = 950 \dots 1000^\circ\text{C}$, $b_2 = 2450 \text{ Вт} \cdot \text{с}^{0,5} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, $K_{КО} = (9,0 \dots 9,4) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;

- для жаропрочного никелевого сплава отливки (свободная линейная усадка при охлаждении $\alpha_0 \sim 2,3\%$) – $t_{теч} = 1550 \dots 1580^\circ\text{C}$, $t_5 = 1350^\circ\text{C}$, $b_C = 20500 \text{ Вт} \cdot \text{с}^{0,5} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ – $K_0 = (17,0 \dots 17,4) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

В расчёте приняты значения коэффициентов $K_{У} = K_2 = K_{УО} = K_{КО} = 1$ для свободной усадки и $K_{У} = 0,4 \dots 0,6$, $K_2 = 1$, $K_{УО} = 0,5$, $K_{КО} = 1$ для затруднённой усадки.

Используя приведенные данные, рассчитали величины максимальной ($\Delta_{0\text{max}}$) и минимальной ($\Delta_{0\text{min}}$) свободной и затруднённой усадки отливки:

$$\Delta_{0, \max} = \Delta_{c, \max} - \Delta_{ko, \min} + \Delta_{m, \max};$$

$$\Delta_{0, \min} = \Delta_{c, \min} - \Delta_{ko, \max} + \Delta_{m, \min};$$

$$\Delta_{c, \max} = K_{yo} \cdot K_c \cdot \max \cdot (t_s - 20) \cdot (Z_{\text{пф}} - \Delta_{ko, \min} + \Delta_{m, \max}) \cdot K_{z0};$$

$$\Delta_{c, \min} = K_{yo} \cdot K_c \cdot \min \cdot (t_s - 20) \cdot (Z_{\text{пф}} - \Delta_{ko, \max} + \Delta_{m, \min}) \cdot K_{z0};$$

$$\Delta_{ko, \max} = K_{ko, \max} \cdot (t_{\max} - 20) \cdot (Z_{\text{пф}} - \Delta_{m, \min});$$

$$t_{\max} = [0,5 \cdot (t_{\text{теч, max}} + t_{2, \max})]^{0,5} \cdot b_c / b_2 + t_{2, \max};$$

$$\Delta_{ko, \min} = K_{ko, \min} \cdot (t_{\min} - 20) \cdot (Z_{\text{пф}} - \Delta_{m, \max});$$

$$t_{\min} = [0,5 \cdot (t_{\text{теч, min}} + t_{2, \min})]^{0,5} \cdot b_c / b_2 + t_{2, \min};$$

$$\Delta_{m, \max} = Z_{\text{пф}} \cdot K_{m, \max} \cdot K_y \cdot \max \cdot (t_{3, \max} + t_{b, \min}) \cdot K_{z1};$$

$$\Delta_{m, \min} = Z_{\text{пф}} \cdot K_{m, \min} \cdot K_y \cdot \min \cdot (t_{3, \min} + t_{b, \max}) \cdot K_{z1};$$

где $\Delta_{c, \max}$ и $\Delta_{c, \min}$ – максимальная и минимальная величина абсолютной усадки сплава соответственно, мм; $\Delta_{ko, \max}$ и $\Delta_{ko, \min}$ – максимальная и минимальная величина абсолютного расширения КО при нагреве под заливку от 20°C до t_{\max} и t_{\min} соответственно, мм; $\Delta_{m, \max}$ и $\Delta_{m, \min}$ – максимальная и минимальная величина абсолютной усадки модельного состава соответственно, мм.

Степень влияния каждого из параметров на стабильность размера отливки, в условиях свободной и затруднённой усадки (ф. %), определяли как отношение величины изменения абсолютной свободной или затруднённой линейной усадки отливки, при изменении каждого конкретного параметра в указанных выше пределах (при минимальном и максимальном значении параметра), к величине интервала абсолютного изменения свободной или затруднённой линейной усадки отливки соответственно:

$$\varphi = \frac{\Delta_{0, \text{п. max}} - \Delta_{0, \text{п. min}}}{\Delta_{0, \text{п. max}} - \Delta_{0, \text{п. min}}} \cdot 100\%,$$

где $\Delta_{0, \text{п. max}}$ и $\Delta_{0, \text{п. min}}$ – величина абсолютной линейной усадки отливки при максимальном и минимальном значении n-го параметра соответственно, мм.

Величины $\Delta_{0, \text{п. max}}$ и $\Delta_{0, \text{п. min}}$ рассчитывали по уравнениям (16.17)...(16.26) при максимальном и минимальном значении n-го параметра соответственно, приняв значения всех остальных параметров на среднем уровне.

Результаты расчёта значений φ (%) по уравнению (16.27) представлены в виде гистограммы на рис. 16.16, где цифры (по оси абсцисс) соответствуют изменениям следующих параметров: 1 – ΔK_m ; 2 – ΔK_y ; 3 – Δt_3 ; 4 – Δt_b ; 5 – ΔK_{ko} ; 6 – $\Delta t_{\text{теч}}$; 7 – Δt_2 ; 8 – ΔK_c .

Анализ полученных данных свидетельствует, что, при всех прочих равных условиях, наибольшую нестабильность размерной точности элементов тонкостенных отливок, не испытывающих затруднённую усадку, вызывает изменение температуры запрессовки модельного состава в пресс-форму (3, см. рис. 16.16) и изменение

температуры воздуха (4, см. рис. 16.16) в отделении нанесения огнеупорного покрытия во время изготовления КО на модельном блоке.

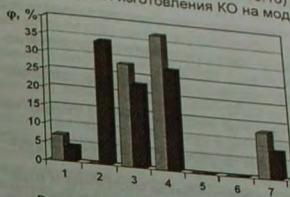


Рис. 16.16. Гистограмма степени влияния (ф. %) параметров производства на погрешность размеров отливок при свободной и затруднённой усадке модели и отливки (серый цвет – свободная усадка, чёрный цвет – затруднённая усадка)

$L_T = 300$ мм данный теоретический размер отливки следует ожидать в пределах (усадка затруднённая):

$$L_T = L_n \pm (L_n | \Delta_{\Delta 3} | / 100) = 300 \pm (300 \cdot 0,20 / 100) = 300 \pm 0,60 \text{ мм.}$$

Расчитанная величина отклонений $\Delta_{\Delta 3} = \pm 0,6$ мм или $\Delta_{\Delta 3} = \pm 0,20\%$, ниже требуемого уровня точности ($\Delta_{\Delta 3} > \Delta_{L_n}$), поскольку при $L = 300^{+0,1}_{-0,1}$ мм, соответствующей значению $L = 299,9 \pm 0,2$ мм, величина $\Delta_{L_n} = \pm 0,2$ мм или $\Delta_{L_n} = \pm 0,067\%$. В связи с этим, используя вышеприведенные уравнения, рассчитали допустимые пределы изменения параметров, которые обеспечивают получение размеров отливок с погрешностью в пределах до $\Delta_{\Delta 3} = \pm 0,067\%$.

В результате расчётов установлено, что для обеспечения погрешности размерной точности отливок в пределах $\Delta_{\Delta 3} = \pm 0,067\%$, в условиях затруднённой усадки, необходимо обеспечить условия, при которых отклонения параметров от их средней величины не превышают следующие значения:

- величина отклонения КТЛР модельного состава не должна превышать $\Delta K_M = \pm 5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;

- величина отклонения температуры модельного состава при запрессовке в пресс-форму не должна превышать $\Delta t_3 = \pm 1,0 \text{ } ^\circ\text{C}$;

- величина отклонения температуры воздуха в модельном отделении, помещении хранения моделей и модельных блоков и отделении нанесения огнеупорного покрытия на модельные блоки, а также температура огнеупорных суспензий и зернистых огнеупорных материалов не должна превышать $\Delta t_b = \pm 1,0 \text{ } ^\circ\text{C}$;

- температура модельного блока при сушке первых трёх-четырёх слоёв огнеупорного покрытия должна быть равна температуре воздуха в отделении нанесения огнеупорного покрытия, а её изменение для модели и модельного блока в процессе его обезжирки и сушки огнеупорного покрытия на нём не должно превышать $\Delta t_M = \pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$;

- величина отклонения начальной температуры перед заливкой не должна превышать $\Delta t_0 = \pm 15^\circ \text{C}$;

- величина отклонения коэффициента термического линейного расширения используемого сплава не должна превышать $\Delta K_c = \pm 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ \text{C}^{-1}$;

- величина отклонения температуры пресс-формы в момент запрессовки используемого сплава не должна превышать $\Delta t_{\text{пр}} = \pm 1,5^\circ \text{C}$;

- величина отклонения температуры выдержки модели в пресс-форме модельного состава не должна превышать (от общей заданной величины) $\Delta t_{\text{в}} = \pm 3\%$;

- величина отклонения давления запрессовки модельного состава не должна превышать $\Delta p = \pm 0,01 \text{ МПа}$.

форму не должна превышать температура воздуха в модельном отделении и отделении нанесения огнеупорного покрытия, допускаясь в пределах от 24°C до 26°C , то её изменение, температура отделения, допускаясь в пределах от 24°C до 26°C . Соответственно, температура сушки на его поверхности третьего-четвертого слоя отливки и ЛПС, до окончания должна изменяться более чем на 2°C от температуры огнеупорного покрытия не должна изменяться более чем на 2°C от температуры воздуха в модельном отделении и отделения нанесения огнеупорного покрытия. Если средняя температура КО перед заливкой составляет 980°C , то её изменение для всех КО должно находиться в пределах от 965°C до 995°C и т.д.

Кроме этого, для обеспечения стабильности размерной точности отливок, затвердевающих и охлаждающихся в условиях затруднённой усадки, очень важно "сузить" пределы изменения параметров плавки и заливки, в частности, термовременные режимы, определяющие изменения величины коэффициента $K_{\text{во}}$ на уравнивание (16.19) и (16.20).

В отличие от погрешности размерной точности, на величину коробления турбинных лопаток, при всех прочих равных условиях, материал модели оказывает значительное, а в некоторых случаях, решающее влияние.

На рис. 16.17 представлена гистограмма относительного влияния материала модели на коробление выходной кромки пера турбинных лопаток, изготовленных из жаропрочных никелевых сплавов. Гистограмма построена по результатам обработки статистических данных турбинных лопаток с межполочным расстоянием $L=152 \text{ мм}$ до $L=300 \text{ мм}$. При построении гистограммы средняя величина коробления от выходной кромки турбинных лопаток и у на рис. 16.17), модели которых были изготовлены из модельного состава класса 11В3, принята за 100%.

Анализ гистограммы, представленной на рис. 16.17, показывает, что из числа исследованных модельных составов наибольшее коробление наблюдается у отливок, модели которых изготавливали из модельного состава класса 11В3. Почти втрое меньшая величина коробления у турбинных лопаток, модели которых изготавливали из модельных составов классов 41В1 или 44В2.

То есть степень коробления отливки прямо пропорциональна степени коробления модели. Наибольшее влияние на величину ко-

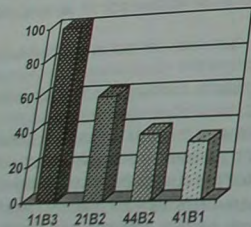


Рис. 16.17. Гистограмма относительного влияния (%) материала модели на коробление охлаждаемых турбинных лопаток

робления модели оказывает изменение её температуры. Изменение формы модели существует определённый предел изменения температуры. Тем не менее, изменение температуры модели происходит, когда изменение формы после извлечения из пресс-формы происходит при её охлаждении на воздухе, испарении растворителя с поверхности модельного блока и модельных блоков, приניה его поверхности, а также в процессе сушки слюва огнеупорной суспензии на модельном блоке. Наиболее значительное изменение температуры модели происходит при обезжиривании поверхности модельного блока и сушке на нём огнеупорвод металла в отливку, ЛПС которых наблюдается у тонкостенных моделей делей турбинных лопаток, ЛПС которых предусматривает комбинированный подборобление модели турбинной лопатки может также произойти при монтаже модельного блока, в частности, во время припаивания литника к телу пера лопатки.

Операция обезжиривания преследует две цели: удаление с поверхности модельного блока цеховой пыли и повышение адгезионных свойств (смачиваемости) модели по отношению к используемой огнеупорной суспензии. При этом, как правило, для обезжиривания модельных блоков используют органические растворители. Исследования показали, что при использовании органических растворителей пропильного спирта коробление моделей, изготовленных из различных модельных составов, по перу неохлаждаемых турбинных лопаток с размером межполочного расстояния 300 мм может достигать 0,3 мм.

Поскольку после извлечения моделей из пресс-формы их поверхность покрыта слоем смазки молекулярной толщины, а цеховая пыль находится именно на поверхности этой смазки, то для очистки поверхности модельного блока достаточно удалить саму смазку. В связи с этим рекомендуется в качестве основы смазки для пресс-форм использовать спиртоводорастворимые материалы, например, синтанол АЛМ-10 и т.п. В этом случае для приготовления смазки для пресс-форм растворителя для обезжиривания модельного блока можно использовать водопроводную воду с добавлением жидкого моющего вещества бытового назначения для первой промывки, и дистиллированную или водопроводную воду без добавок для второй промывки. Промывку блоков в этом случае рекомендуется вести при механическом перемешивании воды.

Растворение смазки в воде при промывке очистит поверхность модельного блока и обеспечит непосредственный контакт поверхности блока с водой. Поскольку вода не смачивает поверхность модельного блока, то после его извлечения из воды (после второй промывки) поверхность модельного блока останется сухой.

В случае, если использование водорастворимой смазки для подготовки рабочих поверхностей пресс-форм по каким-либо причинам окажется невозможным, рекомендуется, после обезжиривания в органическом растворителе, модельный блок промывать в воде. Причём промывку в воде осуществлять непосредственно (в течение 1...3 с) после извлечения блока из органического растворителя, не допуская его высыхания на блоке.

Толщина стенок турбинных лопаток, склонных к короблению, невелика и изменяется от 2 до 4 мм в центральной части профиля пера турбинной лопатки до 0,6...1,0 мм на выходной кромке. Поэтому размерная точность и точность формы лопатки во многом зависит от точности модели. В свою очередь, как было отмечено выше, точность модели зависит от стабильности температуры, при которой модель

извлекают из пресс-формы, от стабильности температуры хранения модели и модельного блока, от природы используемого в огнеупорной суспензии растворителя, от режима сушки слоёв огнеупорной суспензии и пр. Из числа перечисленных факторов наиболее проблематичным является сохранение начальной температуры модельного блока ($t_{мб}$) в процессе сушки на нём слоёв огнеупорного покрытия.

Дело в том, что огнеупорные суспензии содержат жидкие компоненты – РР (воду, этиловый или изопропиловый спирт, ацетон и т.п.), испаряющиеся в процессе сушки огнеупорной суспензии на модельном блоке. Процесс испарения РР связан с поглощением теплоты и, соответственно, понижением температуры огнеупорного покрытия и модельного блока [172; 241 и др.].

Причём неравномерность толщины стенок как в самой модели, так и в модельном блоке приводит к неравномерному охлаждению различных элементов и модели, и характеризуется неравномерностью усадки его различных элементов. В свою очередь, неравномерность усадки приводит к короблению, а в некоторых случаях к разрушению модели или модельного блока, отслоению от поверхности модели или разрушению на ней первого слоя огнеупорного покрытия. При наличии в модели керамического стержня, существенное переохлаждение модели на фоне понижения пластичности модельного состава и его затруднённой усадки в области керамического стержня может привести к образованию трещин в области керамики.

В работе [241] представлены результаты исследования влияния природы РР огнеупорной суспензии и условий её сушки на изменение температуры моделей и длительности сушки покрытий. В исследованиях использовали огнеупорные суспензии на основе следующих растворителей: вода (связующее – кремнезоль), спирт этиловый и ацетон (связующее – ГРЭС на основе этилсиликата ЭТС 40) при мольном соотношении $M=0,52...0,55$. Сушку слоёв огнеупорного покрытия проводили на воздухе при следующих условиях:

режим А – температура воздуха в процессе сушки $t_{в}=24^{\circ}\text{C}$, скорость движения воздуха $U \rightarrow 0$ м/с, относительная влажность воздуха $Вл=75\%$ и $Вл=55\%$;
режим Б – $t_{в}=24^{\circ}\text{C}$, $U \approx 2$ м/с, $Вл=75\%$ и $Вл=55\%$;
режим В – $t_{в}=34^{\circ}\text{C}$, $U \approx 2$ м/с, $Вл=75\%$.

В качестве параметра, определяющего длительность сушки слоя огнеупорного покрытия на модели, было принято время испарения растворителя из этого слоя, регистрируемое по характеру изменения температуры модели.

В результате проведенных исследований установлено, что величина снижения температуры модели и длительность сушки огнеупорного покрытия зависит от природы вещества в сушильной камере, а для покрытия на водной основе – и от относительной влажности воздуха. Наибольшее охлаждение моделей наблюдается при сушке первого слоя КО. С увеличением количества слоёв огнеупорного покрытия на модели степень охлаждения модели в процессе сушки – понижается.

На рис. 16.18 представлены зависимости изменения температуры моделей в период сушки на них первого слоя огнеупорного покрытия на основе воды и кремнезоля – термограммы 1 ($Вл=75\%$) и 4 ($Вл=55\%$), этилового спирта и ГРЭС – термограмма 2, а также ацетона и ГРЭС – термограмма 3.

Из представленных на рис. 16.18,а термограмм видно, что сушка первого слоя КО по режиму А, выполненному на основе водной суспензии (длительность сушки, при комнатной температуре, в условиях естественной конвекции воздуха, составляет более 6 ч) проходит при длительном понижении температуры модели на -5°C , при относительной влажности воздуха $Вл=55\%$ (термограмма 4 на рис. 16.18,а) и понижении температуры на -3°C при $Вл=75\%$ (термограмма 1 на рис. 16.18,а).

При использовании суспензий с этиловым спиртом и ацетоном длительность сушки составила соответственно 40 и 12 мин, а температура моделей при этом понизилась соответственно на 13 и 17°C (термограммы 2 и 3 соответственно на рис. 16.18,а).

Сушка первого слоя КО (режим Б) при комнатной температуре в условиях принудительного движения воздуха со скоростью ~ 2 м/с (см. рис. 16.18,б) позволяет высушить первый слой КО на водной суспензии за $\sim 2,5$ ч при длительном понижении температуры модели от её начального значения на $-6,5^{\circ}\text{C}$ при $Вл=75\%$ (термограмма 1 на рис. 16.18,б). Сушка в аналогичных условиях при относительной влажности $Вл=55\%$ сокращает длительность сушки до 2 ч, но при этом понижает температуру модели на 9°C (термограмма 4 на рис. 16.18,б).

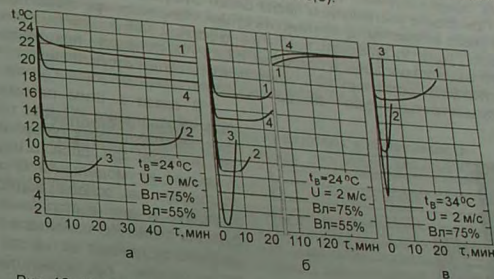


Рис. 16.18. Изменение температуры моделей в период сушки на них первого слоя огнеупорного покрытия по режиму А (а), Б (б) и В (в)

При использовании суспензий со спиртом этиловым и ацетоном длительность сушки составила соответственно ~ 8 и ~ 3 мин, а температура моделей при этом понизилась соответственно на ~ 15 и $\sim 21,5^{\circ}\text{C}$ (термограммы 2 и 3 соответственно на рис. 16.18,б).

Сушка первого слоя КО (режим В) при температуре 34°C , в условиях принудительного движения воздуха со скоростью ~ 2 м/с и $Вл=75\%$ (см. рис. 16.18,в) не позволяет высушить первый слой КО на водной суспензии без превышения начальной температуры модели. Анализ термограммы 1, представленной на рис. 16.18,в, показывает, что через 1...2 мин с начала сушки покрытия температура модели понизилась на $\sim 5^{\circ}\text{C}$ и через 3...4 мин стала повышаться, достигнув 24°C через 23 мин. В момент достижения моделью температуры 24°C содержание воды в покрытии составило 4,1...4,7% (по массе). То есть по достижении моделью в процессе сушки по данному режиму исходной температуры покрытие остаётся невысушенным, поскольку содержание воды в достаточной степени высушенном водном связующем не должно превышать 1,3...1,5% (по массе).

При использовании суспензий со спиртом этиловым и ацетоном длительность сушки составила соответственно $\sim 2,5$ и $\sim 1,0$ мин, а температура моделей при этом понизилась соответственно на ~ 8 и $\sim 11^{\circ}\text{C}$ (термограммы 2 и 3 соответственно на рис. 16.18,в).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что ни один из исследованных режимов сушки слоёв КО не позволяет реализовать два основных требования,

предъявляемых к процессу сушки — короткий цикл сушки и сохранение при этом неизменной начальной температуры модели.
Использование теплого воздуха позволит сократить длительность сушки КО и не допустить в режиме "тепло-холод" с индивидуальным контролем изменения температуры каждого модельного блока, в соответствии с которым следует изменять соответствующим образом температуру воздуха, подаваемого в сушильную камеру.

С увеличением количества слоёв огнеупорного покрытия на модельном блоке уменьшается величина понижения начальной температуры моделей, что следует из данных, представленных на рис. 16.19, для условий сушки по режиму Б при $Vл=55\%$. При этом с увеличением числа слоёв огнеупорного покрытия на модельном блоке резко возрастает длительность сушки. Например, при сушке по режиму Б в первом слое огнеупорного покрытия на водном связующем первого слоя (до остаточного содержания воды в покрытии 1,2...1,7%, по массе) при относительной влажности $Vл=55\%$ составляет ~2 ч, длительность сушки второго слоя — ~6 ч, длительность сушки третьего слоя — 18...22 ч.

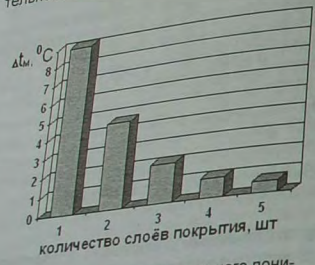


Рис. 16.19. Величина максимального понижения температуры модели при сушке покрытия модели по режиму Б при $Vл=55\%$ в зависимости от количества слоёв огнеупорного покрытия на модели

покрытия наносят с использованием водной огнеупорной суспензии, а последующие слои наносят попеременно, чередуя слои на водной суспензии со щелочными свойствами и суспензии с органическим растворителем и кислыми свойствами.

Одним из вариантов стабилизации точности турбинных лопаток является проведение сушки покрытия в вакууме на модельных блоках, засыпанных зернистым огнеупорным материалом, используемым для обсыпки модельных блоков. В этом случае наличие зернистого материала вокруг блока предотвращает значительную деформацию модели отливки даже в условиях существенного понижения температуры модели.

В пользу необходимости сохранения постоянства температуры модели в процессе формирования на ней КО свидетельствуют результаты исследований [253], согласно которым условия сушки КО влияют как на качество лицевого слоя (его по-

В связи с этим рекомендуется, при изготовлении КО для тонкостенных неохлаждаемых турбинных лопаток первые три слоя огнеупорного покрытия на модельном блоке изготавливать на основе водного связующего, а для выполнения последующих слоёв КО использовать огнеупорную суспензию на основе ГРЭС с органическим растворителем. Использование огнеупорной суспензии-творителя, а также вакуумно-сушки, позволяет наносить последующие слои покрытия с периодичностью в 2...3 ч, что значительно сократит общий цикл изготовления КО.

Другим вариантом изготовления КО является технологическая схема, согласно которой первые три слоя

ристость и размер пор), так и на прочность КО. Установлено, что при выполнении условия:

$$t_m = t_c = t_{cp}, \quad (16.28)$$

где t_m , t_c и t_{cp} — температура модели, обсыпочного материала КО и среды в камере сушки КО соответственно, лицевая поверхность КО имеет наименьшую пористость (менее 10%), наименьший диаметр пор (менее 0,1 мм) и наибольшую прочность. Любое другое указанное соотношение между величинами в уравнении (16.28) приводит к увеличению величины пористости, увеличению диаметра пористых элементов и понижению прочности КО.

Точность отливок, получаемых в КО, находится в прямой зависимости от пористости КО [217]. С увеличением пористости КО уменьшаются величины отклонений размеров от их номинальных значений. Если рассматривать влияние отклонений размеров от их номинальных значений. Если цех, то, по уровню обеспечения точности и её стабильности в отливках наиболее широко применяемые материалы можно расположить (по уровню возрастания точности отливок) в порядке, представленном в табл. 16.3.

Таблица 16.3
Условные уровни точности отливок в зависимости от материалов, используемых для изготовления КО

Номер условного уровня	Обсыпочный материал + пылевидный наполнитель + связующее
1	кварцевый песок + кварц пылевидный + связующее
2	шамот + кварц пылевидный + жидкое стекло
3	кварцевый песок + кварц пылевидный + ГРЭС
4	кварцевый песок + кварц пылевидный + кремнезоль
5	шамот + кварц пылевидный + ГРЭС
6	шамот + кварц пылевидный + ГРЭС
7	шамот + кварц пылевидный + ГРЭС
8	шамот + дистен-силлиманит + ГРЭС
9	шамот + дистен-силлиманит + ГРЭС
10	электрокорунд + дистен-силлиманит + ГРЭС
11	электрокорунд + дистен-силлиманит + ГРЭС
12	электрокорунд + электрокорунд + ГРЭС
13	электрокорунд + электрокорунд + кремнезоль
14	плавленый кварц + плавленый кварц + ГРЭС
	плавленый кварц + плавленый кварц + кремнезоль

Чем больше номер условного уровня, указанного в табл. 16.3, тем, при всех прочих равных условиях, выше точность и размерная стабильность получаемых отливок. Данная градация носит условный качественный характер и не учитывает известные технологические приёмы, направленные на повышение размерной точности отливок, позволяющие повысить точность на один-два уровня. Тем не менее, в первом приближении, используя приведенные данные, можно прогнозировать условный уровень точности и размерной стабильности отливок, получаемых с использованием указанных материалов.

Свою "лепту" в изменение размерной точности и точности формы отливки вносит их и термическая обработка [65]. При этом степень влияния термической обработки на данные показатели отливки зависит от её конфигурации, габаритных размеров, толщин стенок, марки сплава, режима термической обработки, однородности температурного поля в рабочем пространстве термической печи, местонахождения отливки в рабочем пространстве печи во время её термообработки и т.п.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Физические свойства химических элементов

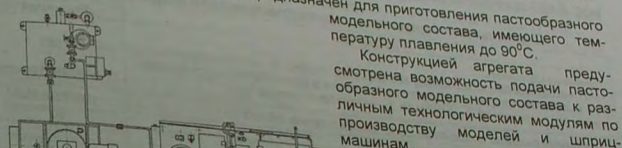
Элемент	Символ	Температура плавления (t _{пл}), °С	Плотность, кг/м ³			Удельная теплоемкость, Дж/(кг·град)			Удельная теплота плавления, Дж/кг
			при 20°С	при t _{пл}	при t _{пл} + 100°С	при 20°С	при t _{пл}	при t _{пл} + 100°С	
Алюминий	Al	659,7	2701,5			902	1090	1290	386610
Бериллий	Be	1284	1840			1662			1298557
Бор	B	2300	2340			1107			2051756
Ванадий	V	1710	5960			563	502		325810
Висмут	Bi	271	9800	10000	9920	122	125	138	52158
Вольфрам	W	3382	19300	16740		136	135		191460
Железо	Fe	1539	7872	7058	6990	448	695	922	276991
Золото	Au	1063	19300	17350	17250	128			64988
Иттрий	Y	1525	4472			297			113604
Кадмий	Cd	321	8650	8020	7950	231			56940
Калий	K	62,3	870			746			61125
Кальций	Ca	848	1550			703			216013
Кальций	Ca	848	1550			421	450	854	266033
Кобальт	Co	1494	8790			708			1780627
Кремний	Si	1420	2420	2530	2500	197			48233
Лантан	La	920	6162			3665	3560	4186	422190
Литий	Li	186	540	500		1047			361842
Литий	Li	186	540	500	1550	1047			243582
Магний	Mg	651	1740			478			198346
Марганец	Mn	1244	7440	6750	7920	385	440	310	287680
Медь	Cu	1083	8960	8000		245	255		334
Молибден	Mo	2620	10200	8900		334			1237
Мышьяк	As	610*				1237			
Натрий	Na	97,5	971						114882
Неодим	Nd	1024	7007						207432
Неодим	Nd	1024	7007	7900	7780	444	448	670	300562
Никель	Ni	1455	8897	7900	7780	255			288464
Ниобий	Nb	2500	8570	7850	6900	215	240	255	59696
Олово	Sn	231,89	7300	7000		136			111743
Платина	Pt	1773	21440			137			177746
Рений	Re	3180	21020			130	130	113	23215
Свинец	Pb	327,4	11340	10680	10550	705	236	289	45188
Сера	S	444,6	1957			705			104765
Серебро	Ag	960,5	10500	9350	9260	236			170842
Сурьма	Sb	630,5	6700	6490	6430	209			136509
Тантал	Ta	2900	16600			140			394572
Титан	Ti	1668	4500	4100	4030	525			718
Углерод	C	4770**	2130			750			447
Фосфор	P	44,2	1857			460			369836
Хром	Cr	1903	7194	6300		381	419	502	115038
Цинк	Zn	419,5	7140	6570	6480	285			211576
Цирконий	Zr	1857	6490	6000					

Примечание. * – температура возгонки вещества. ** – графит при атмосферном давлении не плавится, а возгоняется.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Оборудование для подготовки модельного состава к заправке в пресс-формы и изготовления моделей.

Агрегат приготовления пастообразного модельного состава мод. 61Т731. (Изготовитель – ГУП "Тираспольский завод литейных машин им. С.М. Кирова". Молдова).

Агрегат мод. 61Т731 (см. рис.) предназначен для приготовления пастообразного модельного состава, имеющего температуру плавления до 90°С.



Конструкцией агрегата предусмотрена возможность подачи пастообразного модельного состава к различным технологическим модулям по производству моделей и шприц-машинам. Агрегат обеспечивает выполнение следующих технологических операций: расплавление твердого модельного состава, приготовление пастообразного модельного состава, накопление пастообразного модельного состава в сборнике, заправку пастообразного модельного состава через ручной шприц в пресс-форму. Технические параметры агрегата мод. 61Т731 приведены в таблице.

Технические параметры агрегата мод. 61Т731

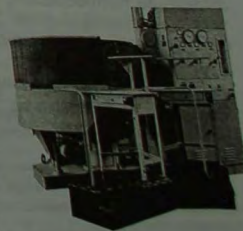
Параметры	Значения
Производительность по пастообразному модельному составу, м ³ /ч (л/ч)	0,03 (30)
Объем плавильного бака, м ³ (л)	0,03 (30)
Объем накопителя модельного состава, м ³ (л)	0,06 (60)
Объем бака приготовления пастообразного модельного состава, м ³ (л)	0,03 (30)
Температура пастообразного модельного состава, °С	45-60
Давление прессования, МПа	0,3-0,6
Установленная мощность, кВт	30,65
Габаритные размеры, мм: длина×ширина×высота	2490×1740×1140
Масса, кг	1200

Линия полуавтоматическая мод. 6А50.

(Изготовитель – ГУП "Тираспольский завод литейных машин им. С.М. Кирова". Молдова).

Линия полуавтоматическая мод. 6А50 (см. рис.) предназначена для автоматизированного приготовления пастообразного модельного состава с температурой плавления не выше 80°С, автоматического заполнения (с допрессовкой) пресс-форм пастообразным модельным составом и избирательного регулируемого охлаждения каждой пресс-формы.

Линию используют в условиях мелкосерийного производства литья для изготовления моделей мелких и средних отливок из пастообразного модельного состава в ручных пресс-формах



Линия мод. 6А50

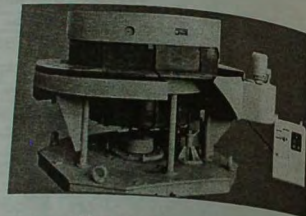
На линии выполняют следующие технологические операции: расплавление модельного состава; перевод модельного состава в пастообразное состояние; запрессовку пастообразного модельного состава в пресс-формы; допрессовку в пресс-форме пастообразного модельного состава; охлаждение пресс-форм в ванне с холодной водой или в воздухе. Технические параметры полуавтоматической линии мод. 6A50 приведены в таблице.

Технические параметры полуавтоматической линии мод. 6A50

Параметры	Значения
Производительность: - по пастообразному модельному составу, м ³ /ч - по количеству запрессовок модельного состава в пресс-формы, запрессовок/ч: режим № 1 – режим № 2 – режим № 3 – режим № 4 – режим № 5	0,063 32–63–125–160–250
Габаритные размеры пресс-форм, мм: длина×ширина×высота	350×250×200
Температура расплава модельного состава, °С	80
Наибольший объем запрессовки, л	4
Давление запрессовки, МПа	0,2–0,5
Давление допрессовки (при давлении сжатого воздуха 0,2–0,6 МПа), МПа	0,4–1,2
Давление допрессовки (при давлении допрессовки, с	0,5–15
Время выдержки под давлением допрессовочной станции, °С	95
Температура воды от насосно-нагревательной станции, м ³ /ч	1,0
Расход воды на технологические цели, м ³ /ч	1
Расход сжатого воздуха (при давлении 0,4 МПа), м ³ /ч	15
Расход пара, кг/ч	16,5
Расход электроэнергии, кВт/ч	4300×3500×2300
Габаритные размеры, мм: длина×ширина×высота	5860
Масса, кг	

Установка мод. 6A54. (Изготовитель – ГУП "Тираспольский завод литейных машин им. С.М. Кирова". Молдова).

Установка мод. 6A54 (см. рис.) предназначена для изготовления моделей (модельных звеньев) из пастообразного модельного состава в ручных пресс-формах в условиях мелкосерийного и серийного производства отливок.



Установка мод. 6A54

Установку встраивают в линию мод. 6A50 или другую систему, осуществляющую приготовление пастообразного модельного состава и его подачу в пресс-формы. Технические параметры установки мод. 6A54 приведены в таблице.

Технические параметры установки мод. 6A54

Параметры	Значения
Наибольшая производительность при непрерывном режиме работы, запрессовок/ч: режим № 1 – режим № 2 – режим № 3 – режим № 4 – режим № 5	32–63–125–160–250
Габаритные размеры пресс-форм, мм: длина×ширина×высота	350×250×200
Габаритные размеры установки, мм, (без электрошкафа): длина×ширина×высота	2020×2020×1600
Расход электроэнергии, кВт/ч	1,32
Габаритные размеры электрошкафа, мм: длина×ширина×высота	370×210×600
Масса, кг	3480

Шприц-машина мод. 61K142. (Изготовитель – ГУП "Тираспольский завод литейных машин им. С.М. Кирова". Молдова). Шприц-машина мод. 61K142 предназначена для изготовления моделей в ручных пресс-формах путем запрессовки в них пастообразного модельного состава в условиях мелкосерийного и серийного производства литья. Шприц-машину мод. 61K142 используют только в комплекте с установками для приготовления пастообразного модельного состава мод. 61701 или мод. 61T731. Технические параметры и схема шприц-машины мод. 61K142 приведены в таблице.

Параметры		Значения
Наибольшая производительность, запрессовок/ч		125
Максимальный объем одной запрессовки, м ³		0,5
Давление запрессовки пастообразного модельного состава (при давлении сжатого воздуха 0,5 МПа), МПа		2
Габаритные размеры наибольшей пресс-формы, мм: длина×ширина×высота		400×400×400
Наименьшая высота пресс-формы, мм		80
Расход сжатого воздуха (при давлении 0,5 МПа), м ³ /ч		2,2
Габаритные размеры, мм: длина×ширина×высота		750×725×2190
Масса, кг		600



Шприц-машина мод. 61I141. (Изготовитель – ГУП "Тираспольский завод литейных машин им. С.М. Кирова". Молдова).

Шприц-машина мод. 61I141 предназначена для изготовления выплавляемых моделей в ручных пресс-формах в условиях мелкосерийного и серийного производства отливок. Эксплуатировать шприц-машину можно только совместно с установками для приготовления пастообразного модельного состава мод. 61701, мод. 61T731 и т.п.

На шприц-машине мод. 61I141 осуществляют запрессовку пастообразного модельного состава в пресс-формы от насосов установки пастопротогирования. Технические параметры и схема шприц-машины мод. 61I141 приведены в таблице.

Технические параметры и схема шприц-машины мод. 61I141

Параметры		Значения
Наибольшая производительность, запрессовок/ч		125
Максимальный объем одной запрессовки, л		1
Давление запрессовки, МПа		0,3–0,6
Наибольшие габаритные размеры используемых пресс-форм, мм: длина ширина высота		400 400 400
Наименьшая высота используемых пресс-форм, мм		150
Расход сжатого воздуха (при давлении 0,5 МПа), м ³ /ч		1,2
Установленная мощность, кВт		1,75
Габаритные размеры, мм: длина×ширина×высота		750×650×1710
Масса, кг		500



Автомат мод. 61101. (Изготовитель – ГУП "Тираспольский завод литейных машин им. С.М. Кирова", Молдова).

Автомат мод. 61101 (см. рис.) предназначен для изготовления модельных звеньев из пастообразного и массового состава в условиях серийного и массового производства литья по выплавляемым моделям.

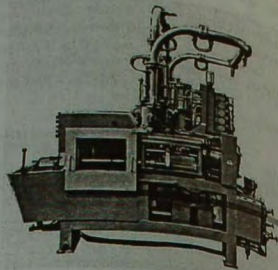
Автомат работает в автоматическом режиме и только с пресс-формами, основные размеры которых соответствуют ГОСТ 19947-74, а также снабженными механизмами выталкивания модельных звеньев.

На автомате операции: закрытие и раскрытие пресс-формы; запрессовку модельного состава; охлаждение модельного состава в пресс-форме; выталкивание из пресс-формы модельных звеньев; смазку пресс-форм; удаление модельных звеньев из зоны раскрытия пресс-формы.

Технические параметры автомата мод. 61101 приведены в таблице.

Технические параметры автомата мод. 61101

Параметры	Значения
Размеры поверхностей плит для крепления пресс-форм, мм:	320×320
длина×ширина	320
Наименьшее расстояние между плитами, мм	1,2
Давление запрессовки модельного состава, МПа	63
Производительность, запрессовок/ч	200
Ход подвижной плиты, мм	20
Максимальный объем одной порции запрессовываемого модельного состава в пресс-форму, л	1,0
Расход воды на технологические цели (при 8–12°C), м³/ч	1,4
Расход сжатого воздуха (при давлении 0,5 МПа), м³/ч	2
Расход электроэнергии, кВт/ч	0,2
Габаритные размеры, мм. длина×ширина×высота	2400×670×1970
Масса, кг	1300



Автомат мод. 61101

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Оборудование для приготовления и хранения огнеупорной суспензии.

Установка (смеситель, мешалка, гидролизёр) мод. 63431. (Изготовитель – ГУП "Тираспольский завод литейных машин им. С.М. Кирова", Молдова).

Установка мод. 63431 (см. рис.) предназначена для порционного приготовления огнеупорной суспензии, используемой для изготовления литейных форм в мелкосерийном и серийном производстве литья. Установка КО (ГО) работает в ручном режиме.

Установка мод. 63431 (мод. 661) представляет собой водоохлаждаемый бак, закрепленный на несущей раме с пневмоцилиндром, размещенным на верхней поперечине. Бак совмещен с поворотным механизмом, предназначенным для поворота бака относительно горизонтальной оси. Привод поворота бака – пневмоступку пневмоцилиндра. На крышке расположена мешалка с приводом.

Перемешивание компонентов огнеупорной суспензии осуществляется с помощью крыльчатки, закрепленной на валу. Частота вращения крыльчатки – 2800 об/мин. Поддача крыльчатки в бак вом пневматического привода. Загрузка компонентов суспензии в танок. Технические параметры установки мод. 63431 приведены в таблице.



Установка мод. 63431 (мод. 661)

Технические параметры установки мод. 63431

Параметры	Значения
Объем загрузки, м³	0,063
Производительность, м³/ч: для этилсиликатной суспензии при времени приготовления 1,5 ч	0,025
Расход жидкостекольной суспензии	0,063*
Расход сжатого воздуха (при давлении 0,5 МПа), м³/ч	0,04
Расход воды, м³/ч	0,5
Расход электроэнергии, кВт/ч	2,2
Габаритные размеры, мм: длина×ширина×высота	820×1050×3300
Масса, кг	750

Примечание. * Расчетный объем загрузки – 0,04 м³.

Агрегат приготовления огнеупорной суспензии мод. 662А. (Изготовитель – ГУП "Тираспольский завод литейных машин им. С.М. Кирова", Молдова).

Агрегат мод. 662А (см. рис.) предназначен для непрерывного приготовления огнеупорной суспензии на основе этилсиликата. Агрегат работает в непрерывном и циклическом режиме. Приготовление огнеупорной суспензии на агрегате реализуется поэтапно. На первом этапе проводится накопление, дозирование и смешивание жидких компонентов суспензии. На втором этапе осуществляется накопление в смесителе (гидролизёре) пылевидного материала (наполнителя огнеупорной суспензии), смешивание.



Агрегат мод. 662А

вание пылевидного материала с жидкими компонентами суспензии и проведение гидролиза (совмещенный способ гидролиза). Технические параметры агрегата мод. 662А приведены в таблице.

Технические параметры агрегата мод. 662А

Параметры	Значения
Наибольшая производительность при непрерывном режиме работы, м ³ /ч	0,150*
Объем смесителя, л	180
Объем промежуточного бака, л	9,5
Объем бункера для пылевидного материала, м ³	0,06
Время дозирования при непрерывном режиме работы, мин	60
Время переключения крыльчатки смесителя, об/мин	1440
Частота вращения компонентов	непрерывный
Способ подачи	5
Расход воды, м ³ /ч	5
Расход сжатого воздуха, м ³ /ч	16,36
Расход электроэнергии, кВт/ч	5300×4640,3355
Расход электроэнергии, кВт/ч	3017
Габаритные размеры, мм: длина×ширина×высота	
Масса, кг	

* Показатель установлен для типового технологического процесса на основе этилсиликата ЭТС-32.

Бак с мешалкой мод. 9190. (Изготовитель – ГУП "Тираспольский завод литейных машин им. С.М. Кирова" Молдова).

Установка мод. 9190 (см. рис.) предназначена для нанесения вручную огнеупорной суспензии на модельные блоки, а также для поддержания стабильной температуры огнеупорной суспензии в процессе её использования и при хранении.

Установку используют в условиях мелкосерийного и серийного производства отливок. Технические параметры установки мод. 9190 приведены в таблице.



Установка мод. 9190


Технические параметры установки мод. 9190

Параметры	Значения
Наибольшие размеры модельных блоков, мм: диаметр×высота	300×320 или 250×500
Объем бака, м ³	0,063
Частота вращения крыльчатки, об/мин	1415
Давление сжатого воздуха, МПа	0,4
Расход сжатого воздуха, м ³ /ч	0,01
Расход воды, м ³ /ч	0,5
Установленная мощность, кВт	1,5
Габаритные размеры, мм: длина×ширина×высота	1035×950×1540
Масса, кг	450

Установка мод. 64Т131. (Изготовитель – ГУП "Тираспольский завод литейных машин им. С.М. Кирова" Молдова).

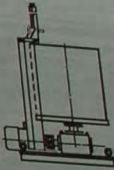
Установка мод. 64Т131 предназначена для механического перемешивания и нанесения вручную огнеупорной суспензии на модельные блоки в условиях мелкосерийного и серийного производства литья. Технические параметры и схема установки мод. 64Т131 приведены в таблице.

Технические параметры и схема установки мод. 64Т131

Параметры		Значения	
Максимальные размеры модельного блока, мм:			
диаметр		260	
длина		400	
Объем бака, л		63	
Расход сжатого воздуха, м ³ /ч		1,48	
Номинальная мощность, кВт		1,2	
Габаритные размеры, мм:			
длина		1180	
ширина		840	
высота		2015	
Масса, кг		400	

Установка (с вращающимся баком) для перемешивания огнеупорной суспензии конструкции ОАО "Спецлиттех" (г. Москва, Россия). Установка предназначена для хранения и нанесения (вручную) огнеупорной суспензии на модельные блоки. Технические параметры установки и её вид приведены в таблице.

Технические параметры и схема установки с вращающимся баком

Параметры		Значения	
Габариты бака, мм:			
диаметр наружный		500 (320)	
высота		500	
Объем бака, м ³ :			
при диаметре 500 мм		0,095	
при диаметре 320 мм		0,038	
Объем бака, м ³ :			
при диаметре 500 мм		0,076-0,066	
при диаметре 320 мм		0,03-0,027	
Габаритные размеры, мм:			
длина		520	
ширина		710	
высота		1116	
Частота вращения бака, об/мин		20-40	

Агрегат мод. 63501. (Изготовитель – ГУП "Тираспольский завод литейных машин им. С.М. Кирова" Молдова).

Агрегат мод. 63501 (см. рис.) предназначен для хранения и транспортировки огнеупорной суспензии, применяемой для изготовления КО в серийном и массовом производстве литья по выплавляемым моделям. Агрегат можно использовать как в составе линий нанесения огнеупорного покрытия, так и самостоятельно. Технические параметры агрегата мод. 63501 приведены в таблице.



Агрегат мод. 63501

Технические параметры агрегата мод. 63501

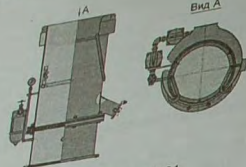
Параметры	Значения
Объем бака, м ³	0,215
Расход сжатого воздуха (при давлении 0,4 МПа), м ³ /ч	0,5
Расход воды, м ³ /ч	0,7
Расход электроэнергии, кВт/ч	3,4
Габаритные размеры, мм: длина×ширина×высота	1600×1150×1650
Масса, кг	915

ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Оборудование для обсыпки модельных блоков зернистым материалом и сушки слоев огнеупорного покрытия.

Пескосыпы мод. 64Т132 и мод. 9191. (Изготовитель – ГУП “Тираспольский завод литейных машин им. С.М. Кирова”, Молдова).

Пескосыпы мод. 64Т132 и мод. 9191 (см. рис.) предназначены для обсыпки модельных блоков зернистым материалом в условиях мелкосерийного производства литья путем погружения модельных блоков вручную в кипящий слой зернистого огнеупорного материала.

Технические параметры пескосыпов мод. 64Т132 и мод. 9191 приведены в таблице.



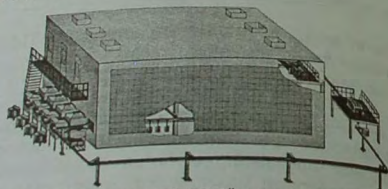
Пескосып мод. 9191

Технические параметры пескосыпов мод. 64Т132 и мод. 9191

Параметры	Значения	
	мод. 64Т132	мод. 9191
Максимальные размеры обрабатываемого модельного блока, мм: диаметр × высота	320 × 400	300 × 320
Расход сжатого воздуха при давлении 0,5 МПа, м ³ /ч	20	250 × 500
Расход сжатого воздуха при давлении 0,4 МПа, м ³ /ч	-	-
Расход сжатого воздуха при давлении 0,4 МПа, м ³ /ч	945 × 935 × 920	920 × 745 × 1170
Габаритные размеры, мм: длина × ширина × высота	230	170
Масса, кг		

Автоматическая линия мод. 64001. (Изготовитель – ГУП “Тираспольский завод литейных машин им. С.М. Кирова”, Молдова).

Автоматическая линия мод. 64001 (см. рис.) предназначена для послыпного нанесения огнеупорного покрытия на модельные блоки звеньевой сборки моделей со стойками оснащенными металлческими замками-зумфами с внешней резьбой, в условиях крупносерийного и массового производства мелкого литья.



Общий вид автоматической линии мод. 64001

Линию изготавливают в одиннадцати исполнениях, отличающихся способом нанесения обсыпного зернистого материала, числом слоев огнеупорного покрытия, наносимого на модельные блоки, временем сушки слоев огнеупорного покрытия и длиной блока.

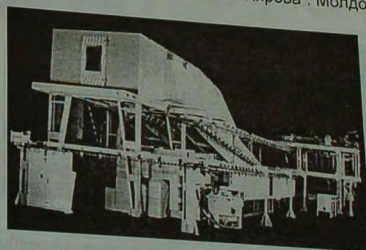
На линии выполняются следующие технологические операции: ручная установка стоек с модельными блоками на подвесной конвейер; нанесение слоя модельного состава на колпачки (зумпфы); нанесение огнеупорной суспензией на модельные блоки; обсыпка модельных блоков зернистым огнеупором в кипящем слое или падающем потоке зернистого огнеупорного материала; зачистка огнеупорного покрытия на кромке ЛВ, на каждом слое покрытия; воздушная сушка огнеупорного покрытия; химическое закрепление последнего (жидкостеклоного)

слоя КО хлористым алюминием, транспортировка блоков на горизонтально-замкнутом конвейере, ручной съем блоков с подвесного конвейера.

Технические параметры линии мод. 64001

Параметры		Значения
Наибольшие габаритные размеры блока мм: диаметр-длина		
Производительность, блоков/ч		400- (400-500)
а) при скорости конвейера не менее 1,67 м/мин:		
при шаге подвесок 320 мм		300
при шаге подвесок 480 мм		200
при шаге подвесок 640 мм		150
б) при скорости конвейера не менее 0,96 м/мин:		
при шаге подвесок 320 мм		180
при шаге подвесок 480 мм		120
при шаге подвесок 640 мм		90
Масса модельно-керамического блока, кг (не более)		180
Число слоев огнеупорного покрытия на блоке, шт		120
Продолжительность сушки одного слоя огнеупорного покрытия, мин, не менее:		90
при скорости движения конвейера 1,67 м/мин		6,5
при скорости движения конвейера 0,96 м/мин		4-5
Расход сжатого воздуха (при давлении 0,5 МПа), м ³ /ч		120
Расход охлаждающей воды (при t=8-12°С), м ³ /ч		210
Установленная мощность, кВт		2-612
Габаритные размеры, мм:		
длина		7,5
ширина		38,7-75,7
высота		
Масса, кг		20305-20760
		13150-16240
		6500
		116000-170000

Автоматизированная линия мод. 6Б82-01. (Изготовитель – ГУП “Тираспольский завод литейных машин им. С.М. Кирова”, Молдова).



Линия автоматизированная мод. 6Б82-01

Автоматизированная линия мод. 6Б82-01 (см. рис.) предназначена для нанесения огнеупорного покрытия на модельные блоки и послыпной сушки покрытия в воздушно-аммиачной среде.

На автоматизированной линии выполняются следующие технологические операции: установка вручную модельных блоков на трассу подвесного конвейера; окунание модельных блоков в огнеупорную суспензию; обсыпка модельных блоков зернистым огнеупорным материалом в кипящем слое или в падающем потоке; послыпная сушка покрытия на модельных блоках в аммиачной и воздушной камерах; транспортировка блоков на горизонтально замкнутом подвесном конвейере; съем блоков, вручную, с подвесного конвейера. Технические параметры линии мод. 6Б82-01 приведены в таблице.

Технические параметры линии мод. 6Б82-01

Параметры	Значения
Наибольшие габаритные размеры блока, мм: длина-диаметр	500x400
Наибольшая производительность (при скорости конвейера 2,13 м/мин и шаге подвески 640 мм), покрытий/ч	200
Наибольшая производительность при четырехслойном покрытии, блоков/ч	50
Наибольшая производительность при трехслойном покрытии, мин, не менее	10
Масса модельного керамического блока, кг (не более)	60
Длина модельной огнеупорной суспензии, м ³	0,09
Объем ванны с огнеупорной суспензией, м ³	0,27
Объем ванны пескосыпа с кипящим материалом в гравитационном пескосыпе	0,5
Объем зернистого огнеупорного материала в гравитационном пескосыпе, об/мин	0,45
Частота вращения барабана пескосыпа, м ³ /ч	2
Расход аммиака (свободного газа), м ³ /ч	160
Расход сжатого воздуха (при давлении 0,4 МПа), м ³ /ч	0,8
Расход воды в системе охлаждения, м ³ /ч	22
Установленная мощность, кВт	23000x7000x5000
Габаритные размеры, мм: длина-ширина-высота	37000
Масса, кг	

В состав линии входят: станция приводная, трасса горизонтально замкнутого конвейера, ванна для нанесения огнеупорной суспензии на модельные блоки, пескосып с кипящим слоем, барабанный пескосып элеваторного типа, камера аммиачной сушки, камера проветривания блоков, бак хранения огнеупорной суспензии, электрошкаф.

Линия автоматизированная мод. 64005. (Изготовитель – ГУП "Тираспольский завод литейных машин им. С.М. Кирова", Молдова).

Линия автоматизированная мод. 64005 (см. рис.) предназначена для изготовления пятислойных КО путём послойного нанесения огнеупорного покрытия на модельные блоки звеньевой сборки с их последующей воздушно-аммиачной сушкой, для изготовления мелких отливок в условиях крупносерийного и массового производства литья.



Автоматизированная линия мод. 64005

На линии мод. 64005 выполняются следующие технологические операции: установка вручную модельных блоков на трассу подвешенного конвейера; нанесение модельного состава на колпачки зумпфов модельных блоков; окунание модельных блоков в огнеупорную суспензию; обсыпка модельных блоков зернистым огнеупорным материалом в кипящем слое; удаление (зачистка) огнеупорного покрытия с кромки литниковой воронки после нанесения каждого слоя огнеупорного покрытия; сушка слоёв покрытия в аммиачной и воздушной камерах; выплавление модельного состава из КО в воде или в модельном составе; транспортировка

блоков на горизонтально замкнутом, подвешенном конвейере, съём КО вручную с подвесного конвейера.
Технические параметры линии мод. 64005 приведены в таблице.

Технические параметры линии мод. 64005

Параметры	Значения
Наибольшая производительность (при скорости конвейера 2,13 м/мин и шаге подвески 480 мм), блоков/ч	300
Масса модельного керамического блока, кг (не более)	500x400
Продолжительность сушки одного слоя огнеупорного покрытия, мин	6,5
Расход пара (при давлении 0,6 МПа), м ³ /ч	5
Расход воды в системе охлаждения (при давлении 0,4 МПа), кг/ч	58
Установленная мощность, кВт	600
Расход аммиака, м ³ /ч	1200
Габаритные размеры, мм: длина-ширина-высота	3,5
Масса, кг	45
	10
	34300x18250x4975
	135000

Установка мод. УВС-4 для вакуумно-аммиачной сушки огнеупорного покрытия на модельных блоках. (Изготовитель – ПО "Электромеханика", г. Ржев, Рос-сия).

Установка мод. УВС-4 (см. рис.) предназначена для вакуумно-аммиачной сушки огнеупорного покрытия на модельных блоках, изготавливаемого на основе гидролизованного раствора этилсиликата с органическим растворителем.

Установка также может служить для сушки огнеупорного покрытия, приготовленного на основе других связующих веществ и их растворителей. В последнем случае установку используют для вакуумной сушки огнеупорного покрытия на модельных блоках.

Технические параметры установки для вакуумно-аммиачной сушки КО мод. УВС-4 приведены в таблице.

Технические параметры установки мод. УВС-4

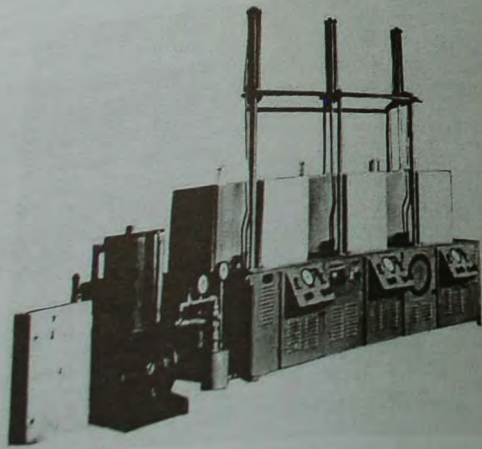
Параметры	Значения
Размеры тележки-этажерки в плане (3 шт), мм	600x1400
Цикл сушки, мин	2240
Рабочая среда	Вакуум, газообразный аммиак
Расход аммиака, м ³ /ч	30-50
Остаточное давление в камере, Па	1,5
Расход воды системы охлаждения, м ³ /ч	19-29
Расход сжатого воздуха, м ³ /ч	14,5
Мощность, кВт	0,12
Габаритные размеры (без вакуумной системы), мм	22
Масса, кг	7000x4700x2500
	5100

Установка мод. 683 для вакуумно-аммиачной сушки огнупорного покрытия на модельных блоках. (Изготовитель – ГУП "Тираспольский завод литейных машин им. С.М. Кирова", Молдова).

Установка вакуумно-аммиачной сушки блоков мод. 683 (см. рис.) предназначена для послышной сушки огнупорного покрытия, выполненного на основе гидризованного раствора этилсиликата, в условиях мелкосерийного и серийного производства литья.

Технические параметры установки мод. 683 приведены в таблице.

Технические параметры установки мод. 683	
Параметры	Значения
Наибольшие габаритные размеры блоков, мм: диаметр×длина	400×500
Наибольшая производительность при сушке блоков диаметром 400 мм (из расчета послышной сушки четырех слоев покрытия и продолжительности цикла сушки одного слоя 15 мин), блоков/ч	12
Количество блоков, размещаемых в одной камере, шт:	4
диаметром до 400 мм	8
Время сушки одного слоя покрытия, мин	15±5; 20±5; 30±5
Расход воды для охлаждения вакуумного золотникового агрегата, м ³ /ч	1,5
Расход сжатого воздуха (при давлении 0,4 МПа), м ³ /ч	0,6
Расход аммиака (при давлении 1 МПа), м ³ /ч	3
Расход электроэнергии, кВт/ч	8,2
Быстрота действия вакуумного оборудования, л/с	180
Предельное остаточное давление по воздуху, кПа	0,4
Габаритные размеры, мм: длина×ширина×высота	6600×1870×3600
Масса, кг	4200



Установка мод. 683

ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Оборудование для выплавления модельного состава из форм.

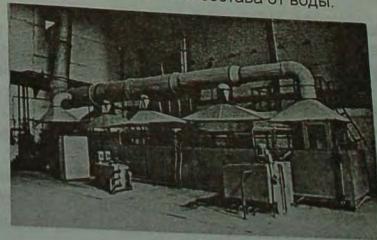
Установки мод. 64511 и мод. 64531 для выплавления модельного состава из оболочковых форм. (Изготовитель – ГУП "Тираспольский завод литейных машин им. С.М. Кирова", Молдова).

Установки предназначены для выплавления модельного состава из ков в условиях массового и крупносерийного (мод. 64511) и мелкосерийного (мод. 64531) производства отливок. Общий вид установок мод. 64511 и мод. 64531 представлен на рисунке, а их технические параметры приведены в таблице.

Технические параметры установок мод. 64511 и мод. 64531

Параметры	Значения	
	64511	64531
Наибольшие габаритные размеры блока, мм: диаметр×длина	400×500	250×400
Наибольшая производительность, блоков/ч:		
при выплавлении в модельном составе (скорость движения конвейера 1,67 м/мин, шаг подвесок 320 мм)		90
при выплавлении в воде (скорость движения конвейера 1,42 м/мин, шаг подвесок 320 мм)	300	
Время выплавления, мин, не менее	250	
Температура воды в ванне выплавления, °C	11	11
Температура расплава модельного состава в ванне выплавления, °C	98	98
Расход пара (при давлении 0,6 МПа), кг/ч	120	120
Расход воды, м ³ /ч		800
Размеры площадки для размещения блоков, мм: длина×ширина	0,1	0,5
Расход электроэнергии, кВт/ч		1350×450
Габаритные размеры установки, мм:		
длина	7,1	7,0
ширина		
высота	15400	4020
Масса, кг	4470	3700
	1854	2370
	11700	3150

Установка непрерывного действия (конвейерного типа) мод. 64511 работает только в составе автоматизированных линий, например, мод. 64001, мод. 64005 и т.п. Установка карусельного типа мод. 64531 работает автономно, обеспечивая при этом выполнение следующих технологических операций: нагрев выплавляющей среды (воды); выплавление модельного состава при непрерывном движении блоков; отделение выплавленного состава от воды.



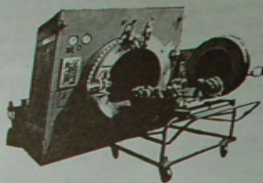
а



б

Установки мод. 64511 (а) и мод. 64531 (б)

Бойлерклавы мод. 64501 и мод. 64502. (Изготовитель — ГУП "Тираспольский завод литейных машин им. С.М. Кирова". Молдова).



Бойлерклав мод. 64501 с тележкой

Бойлерклавы мод. 64501 и мод. 64502 предназначены для выплавления рифного и мелкосерийного производства.

Бойлерклав представляет собой стальной сосуд, работающий под давлением в поперечном (ручном) режиме.

Технические параметры бойлерклавов мод. 64501 и мод. 64502 приведены в таблице, а на рисунке представлен внешний вид бойлерклава мод. 64501 при открытой баке и установленной перед ним тележкой с КО.

Технические параметры бойлерклавов мод. 64501 и мод. 64502

Параметры	Значения	
	мод. 64501	мод. 64502
Наибольшие габаритные размеры блока, мм: длина×ширина	750×550	
Наибольшая производительность, блоков / ч, при продолжительности цикла 5 мин и при размерах блоков (диаметр×длина): 750 × 550 / 400 × 550 / 320 × 500 / 200 × 500	12 / 48 / 72 / 120	
Рабочий объем бойлера (парогенератора) / камеры (автоклава), л	1800 / 1146	
Продолжительность цикла, мин	5–20	
Наибольшее количество модельного состава, выплавляемого за один цикл, л	50	
Максимальное рабочее давление пара, МПа	0,8	
Температура в камере, °С (не более)	170	
Время выхода на рабочий режим, ч	3	
Расход воды, м³/ч	2,2	
Расход воздуха (при давлении P=0,6 МПа), м³/ч	0,5	
Расход электроэнергии, кВт/ч	97,4	
Габаритные размеры, мм: длина×ширина×высота	3660×3770×2470	
Масса, кг	9300	

При выплавлении модельного состава из КО в бойлерклаве выполняются следующие технологические операции: выработка пара ($P=0,8$ МПа, $t=170^{\circ}\text{C}$); раскрытие двери бойлерклава; установка вручную блоков в кассету литниковой воронковой вниз; загрузка вручную кассеты с блоками в камеру бойлерклава; закрытие двери камеры; выпуск пара в камеру; выдержка блоков в камере (от 5 до 20 мин и более); сброс давления в камере (выпуск пара); раскрытие двери при атмосферном давлении внутри камеры; разгрузка бойлерклава (извлечение кассеты с КО из камеры и снятие КО с кассеты).

Бойлерклавы не пригодны для выплавления в них карбамидных моделей и модельных составов, содержащих карбамид, поскольку выделяющийся из карбамида аммиак разрушает детали бойлерклавов, изготовленных из меди и ее сплавов.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Оборудование для прокаливания форм.

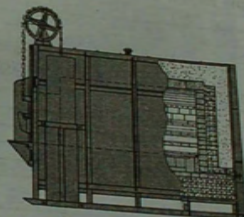
Термические печи камерного типа. Печи электрические камерного типа Н и СНО (см. рис.) используют как для прокаливания форм, так и для термической обработки отливок.

Для прокаливания КО и гипсовых форм данной серии используют в условиях единичного и серийного производства литья.

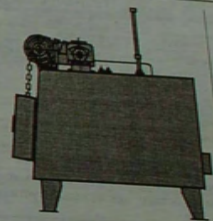
Технические параметры печей типа Н и СНО 8.5.17.5/10 приведены в таблицах.

Технические параметры печей типа Н

Параметры	Значения		
	Н-45	Н-60	Н-75
Номинальная мощность, кВт	45	60	75
Напряжение, В	380/220		
Число фаз, шт.	3		
Максимальная температура, °С	950		
Газовая среда в рабочем пространстве	Воздух (окислительная)		
Время разогрева от комнатной температуры до максимальной, ч	7		
Размеры рабочего пространства, мм: длина×ширина×высота	1200×600×500	1500×750×550	1800×900×600
Габаритные размеры, мм: длина×ширина×высота	2200×1700×1750	2830×1750×2290	3130×1850×2390
Масса, кг	3200	4800	6600



а



б

Печи типа Н (а) и СНО (б)

Технические параметры электрической камерной печи СНО 8.5.17.5/10

Параметры	Значения
Номинальная мощность, кВт	9,2
Напряжение, В	380
Частота тока, Гц	50
Число фаз, шт.	3
Максимальная температура, °С	1000
Рабочая температура, °С	850
Газовая среда в рабочем пространстве	Воздух (окислительная)
Время разогрева от комнатной температуры до максимальной, ч	2,5
Размеры рабочего пространства, мм: длина×ширина×высота	1700×850×500
Габаритные размеры, мм: длина×ширина×высота	3290×2490×2750
Масса, кг	6610

Линия мод. 66С003 для формовки, прокаливания, заливки КО, охлаждения и выбивки блоков. (Изготовитель – ГУП "Тираспольский завод литейных машин им. С.М. Кирова". Молдова).

Линия мод. 66С003 (см. рис.) предназначена для получения отливок методом литья по выплавляемым моделям в условиях мелкосерийного и серийного производства.

На линии выполняют следующие технологические операции:

- прокаливание КО в электрической печи;
 - формовку КО в опорный наполнитель в ванне кипящего слоя с вибрационным уплотнением опорного наполнителя вокруг КО;
 - заливку КО жидким металлом;
 - охлаждение залитых блоков с частичным разрушением КО;
 - извлечение залитых блоков из опорного наполнителя и их сбрасывание с подвесок в транспортную тару;
 - межоперационную транспортировку подвесок с блоками.
- Технические параметры линии мод. 66С003 приведены в таблице.



Линия мод. 66С003 (в плане)

Технические параметры линии мод. 66С003

Параметры	Значения
Производительность, блоков/ч	24
Максимальные размеры блока, мм: диаметр×длина	260×400
Температура в печи прокаливания, °С:	
зона 1-> зона 2-> зона 3	400-700-> 600-900-> 700-1000
Длительность прокаливания КО, мин	60
Длительность цикла, мин	20
Длительность затвердевания отливок, мин	3
Длительность охлаждения залитых блоков, мин	40
Скорость перемещения блоков, м/мин	8,6
Максимальная масса залитого блока, кг	20
Количество блоков, одновременно устанавливаемых под заливку, шт.	8
Установленная мощность, кВт	346,8
Габаритные размеры, мм: длина×ширина×высота	10300×5100×3280
Масса, кг	35500

Линии мод. 66001-01 и мод. 66001-02 для формовки, прокаливания, заливки КО, охлаждения и выбивки блоков. (Изготовитель – ГУП "Тираспольский завод литейных машин им. С.М. Кирова". Молдова).

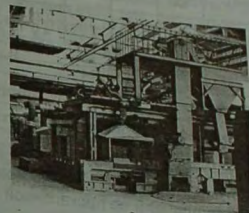
Линии мод. 66001-01 и мод. 66001-02 (см. рис.) предназначены для получения отливок методом литья по выплавляемым моделям в условиях мелкосерийного и серийного производства.

На линиях выполняют следующие технологические операции: формовку КО в мелкозернистый сыпучий опорный наполнитель; прокаливание форм при 1000...1100°С; заливку форм металлом; охлаждение опок с залитыми блоками; расформовку опок и удаление из них залитых блоков; возврат опорного наполнителя в бункер-накопитель.

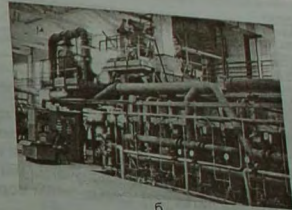
Технические параметры линий формовки прокаливания заливки и охлаждения КО мод. 66001-01 и мод. 66001-02 приведены в таблице

Технические параметры линий мод. 66001-01 и мод. 66001-02

Параметры	Значения
Максимальная производительность при размещении 5-ти блоков в оплке и времени обжига 6 ч с использованием газовой и электрической прокаточных печей:	
блоков/ч	50
оплок/ч	10
Габаритные размеры опок, мм	
Количество пластинчатого конвейера, шт	60
Скорость опок в линии, шт/мин	580:350-540
Ход тележки охлаждающей камеры, мм	140
Ход тележки закатывателя, мм	10
Ход тележки шагового транспортера, мм	422
Время прокаливания, ч	900
Расход электроэнергии с прокаточными печами, кВт/ч:	700
газовой / электрической	6-8
Расход природного газа, м³/ч	
Габаритные размеры с газовой печью, мм: длина×ширина×высота	13 / 463
Масса линии с прокаточными печами, кг: газовой / электрической	254
	18560: 8770: 6000
	123000 / 92000



а



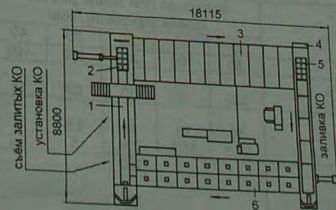
б

Линии мод. 66001-01 (а) и мод. 66001-02 (б)

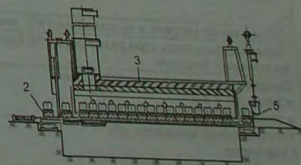
Механизированная линия мод. 7723 для прокаливания и заливки КО. (Изготовитель – АО "НИИТавтопром", г. Москва, Россия).

Механизированная линия прокаливания и заливки КО без опорного наполнителя мод. 7723 предназначена для получения мелких отливок в условиях крупносерийного производства литья [21].

Схема линии мод. 7723 (в плане) и прокаточной печи представлены на рисунке.



а



б

Схема линии мод. 7723 (а) и её печи прокаливания КО (б)

Линия состоит (см. рис.) из газовой печи прокаливания 3 проходного типа с рельсами типа ПИВС-60М, размещёнными в шахматном порядке на её боковых стенах. Печь имеет четыре условные температурные зоны с автоматическим регулированием температуры.

Камера охлаждения залитых КО размещена параллельно печи прокаливания и в своей передней зоне оснащена душирующими устройствами. Прокладочная печь и камера охлаждения связаны между собой системой поперечного транспорта 1 и 4. На позиции загрузки КО в печь (тележка 2) размещается платформа с установленными на ней КО. На выходе из печи на тележке 5 располагаются прокалённые КО, готовые к заливке металлом.

Технические параметры линии мод. 7723 приведены в таблице.

Технические параметры линии мод. 7723

Параметры	Значения при темпе работы линии (средний), мин				
	3	6	9	12	15
Общее время нагрева и прокаливания КО, мин	54	108	162	216	270
Производительность (при размещении 10 блоков на тележке), блоков/ч	200	100	66	50	40
Средняя скорость нагрева КО, °С/мин:	39	19,5	13	9,75	7,8
	до 600°C	19,5	9,75	6,5	4,9
до 900°C				80	
Расход газа, км³/ч				24	
Установленная мощность, кВт				100000	
Масса, кг					

Механизированная линия мод. 7758 для прокаливания и заливки КО. (Изготовитель – АО "НИИТавтопром", г. Москва, Россия).

Механизированная линия прокаливания и заливки КО без опорного наполнителя мод. 7758 предназначена для получения мелких отливок в условиях крупносерийного производства литья [21]. Схема линии мод. 7758 (в плане) и её прокаточной печи представлены на рисунке.

В состав линии входит электрическая печь 5 проходного типа, камера охлаждения 3, позиции загрузки-выгрузки блоков 2 и камеры предварительного подогрева, связанные между собой поперечным транспортом 4 и 6.

Печь имеет четыре условные температурные зоны с автоматическим регулированием температуры. Технические параметры линии мод. 7758 приведены в таблице.

Технические параметры линии мод. 7758

Параметры	Значения при темпе работы линии (средний), мин				
	5	10	20	30	40
Общее время нагрева и прокаливания КО, мин	50	100	200	300	400
Производительность (при размещении 10 блоков на тележке), блоков/ч	120	60	30	20	15
Средняя скорость нагрева КО, °С/мин:	40	20	10	6,6	5
	в зонах 1-й и 3-й	31,6	15,8	7,6	5
в зонах 2-й и 4-й					
Установленная мощность, кВт				202	
в том числе:					
печь обжига (прокаливания)				160	
камера предварительного нагрева КО				30	
Масса, кг				56000	

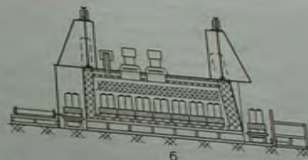
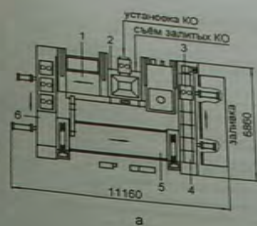


Схема линии мод. 7758 (а) и её печи прокаливания КО (б)

Линия мод. 4232. (Изготовитель – ООО "Спецлиттек", г. Москва, Россия).
Линия мод. 4232 (см. рис.) совмещает операции выплавки модельного состава из КО и их прокаливание. Технические параметры линии мод. 4232 приведены в таблице.

Технические параметры и схема линии мод. 4232

Параметры	Значения
Производительность, блоков/ч	38
Темп работы печи, мин	1,5
Количество КО в печи, шт	26
Габаритные размеры КО, мм:	
диаметр	180
высота	330
Температура прокаливания, °С	1000
Установленная мощность, кВт	54
Число температурных зон, шт	3
Нагревательный элемент	Two-shank Kanthal super
Габаритные размеры, мм: длина×ширина×высота	1800 6/12
Масса, кг	2860×2640×3000 3500

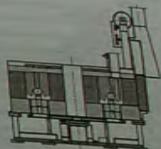


Схема линии мод. 3242

ПРИЛОЖЕНИЕ 7. Традиционные названия химических веществ
Формула

Название	2
Алюминат аммония	онепуорный химически стойкий материал на основе $Al(OH)_3$
Алюмоаммонийные квасцы	$Al NH_4(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$
Алюмокалиевые квасцы	$K Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$
Алюминат натрия	водный раствор NH_3
Аммиачная вода	$Mg(ClO_4)_2$
Амгидрон	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$
Ангидрид	$Na_2 S_2O_3 \cdot 5H_2O$
Ангидридная соль	насыщенный раствор $Ba(OH)_2$
Антихлор	$BaSO_4$
Баритовая вода	SiO_2
Баритовые белила	$BN(рекс.)$
Белая сажа	$KFe(Fe^{III})(CN)_6$
Белый графит	$KClO_3$
Берлинская лазурь	CH_4
Бертолетова соль	$B_2H_6N_2$
Болотный газ	$BN(куб.)$
Боразол	раствор $CuSO_4$ в известковом молоке
Боразон	водный раствор брома (содержит $HBrO$ и HBr)
Бордосская жидкость	$Na_2 B_4O_7 \cdot 10H_2O$
Бромная вода	N_2O
Бура	смесь CO и H_2
Веселящий газ	смесь CO (25% об), N_2 (70%) и CO_2 (4%)
Водяной газ	$Ca(OH)_2$
Воздушный газ	$(NaPO_3)_n$
Гашеная известь	см. воздушный газ
Гексаметафосфат натрия	$Na_2 S_2O_4$
Генераторный газ	см. антихлор ($Na_2 S_2O_4 \cdot 5H_2O$)
Гидросульфит	$Na_2 SO_4 \cdot 10H_2O$
Гипосульфит	PbO
Глауберова соль	$\gamma-Al_2O_3$
Грёт свинцовый	$Al_2(SO_4)_3$
Глинозем	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$
Глинозем сернокислый	смесь 2 объемов H_2 и 1 объема O_2
Горькая соль	см. олеум
Гремучий газ	$Ba(OH)_2$
Дымящая серная кислота	водный раствор KOH , насыщенный хлором (содержит $KClO$ и KCl)
Едкий барит	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$
Жавелевая вода	$Fe NH_4(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$
Железный купорос	$KFe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$
Железоаммонийные квасцы	$K_4[Fe(CN)_6] \cdot 3H_2O$
Железосиликатные квасцы	MgO
Желтая кровяная соль	$2CaSO_4 \cdot H_2O$
Женная магнезия	щелочной раствор силикатов натрия, калия или лития
Женный гипс	насыщенный водный раствор $Ca(OH)_2$
Жидкое стекло	$Ca(NO_3)_2 \cdot H_2O$
Известковая вода	суспензия $Ca(OH)_2$ в известковой воде
Известковая селитра	$CaOCl_2$
Известковое молоко	$Ca(OH)_2$
Известь белильная (хлорная)	смесь CaO и MgO
Известь гашеная	$2CaO + NaOH$
Известь магнезильная	CaO
Известь натронная	KNO_3
Известь негашеная (обожженная)	см. хромпик
Индийская селитра	KOH
Калиевый хромпик	
Калиевый щелок	

Продолжение таблицы приложения 7

Каломель	Hg_2Cl_2
Кальцинированная сода	Na_2CO_3
Каменная соль	$NaCl$
Карбид кальция	CaC_2
Карборунд	SiC
Каустик	$NaOH$
Каустическая сода	$NaOH$
Квасцы алюминийные (алюмокалиевые)	$K_2Al_2(SO_4)_4 \cdot 24H_2O$
Квасцы аммиачные (алюмоаммонийные)	$(NH_4)_2Al_2(SO_4)_4 \cdot 24H_2O$
Квасцы железные	$K_2Fe_2(SO_4)_4 \cdot 24H_2O$
Квасцы железоаммиачные (железоаммонийные)	$Fe_2(NH_4)_2(SO_4)_4 \cdot 24H_2O$
Квасцы хромовые	$K_2Cr_2(SO_4)_4 \cdot 24H_2O$
Кипелка	CaO
Кислота Каро	$H_2SO_4(O_2)$
Коагулянт алюминийный	$Al_2(SO_4)_3$
Коагулянт железный	$Fe_2(SO_4)_3$
Коагулянт зольный	смесь $Al_2(SO_4)_3$ и $Fe_2(SO_4)_3$
Коагулянт нефелиновый	Al_2O_3
Красная кровяная соль	$K_3[Fe(CN)_6]$
Кремнезем	SiO_2
Криолит	$3NaF \cdot AlF_3$
Крокус	Fe_2O_3
Купорос железный	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$
Купорос медный	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$
Купоросное масло	техническая концентрированная (90,5 - 92,5%-ная) серная кислота
Ледяная уксусная кислота	100%-ная твердая уксусная кислота
Лейкосапфир	Al_2O_3
Лалис	сплав $AgNO_3 + 2KNO_3$
Магнезильная смесь	раствор $MgCl_2$ и NH_4Cl в аммиачной воде
Магнезит	$MgCO_3$
Магнезия белая или жовная	MgO
Магнезия селитра	$Mg(NO_3)_2 \cdot H_2O$
Мажеф	$Mn(H_2PO_4)_2$
Медный купорос	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$
Мел (мрамор)	$CaCO_3$
Меланик кислотный	$HNO_3 + H_2SO_4$ (87...89% HNO_3)
Моногидрат	H_2SO_4
Монтан-селитра	смесь $(NH_4)_2SO_4$ и NH_4NO_3
Мочевина (карбамид)	$C(NH_2)_2O$
Мумия	Fe_2O_3
Натронная известь	смесь CaO или $Ca(OH)_2$ и $NaOH$
Натронная селитра	$NaNO_3$
Нашатырный спирт	см. аммиачная вода
Нашатырь	NH_4Cl
Негашеная известь	CaO
Неорганический бензол	см. боразол
Нитропруссид натрия	$Na_2[Fe(NO)(CN)_5]$
Норвежская селитра	$Ca(NO_3)_2 \cdot H_2O$
Олеум	раствор SO_3 в H_2SO_4
Оловянная соль	$SnCl_2 \cdot 2H_2O$
Оловянное масло	$SnCl_4$ (жидк.)
Пергидроль	27...31%-ный водный раствор H_2O_2
Периклаз	MgO
Питевая сода	$NaHCO_3$
Плавиновая кислота	концентрированный водный раствор HF
Плавиновый шпат	CaF_2
Поваренная соль	см. каменная соль

Поташ	K ₂ CO ₃
Растворимое стекло	смесь K ₂ SiO ₃ или Na ₂ SiO ₃ и SiO ₂
Рубин	Al ₂ O ₃
Рудничный газ	CH ₄
Свинцовый крон	PbCrO ₄
Свинцовый купорос	PbSO ₄
Свинцовый сахар	Pb(CH ₃ COO) ₂ · 3H ₂ O
Серная печь	Na ₂ S _x · K ₂ S _x
Сернистый газ	SO ₂
Серный цвет	порошкообразная S ₈ (ромб.)
Сероводородная вода	насыщенный водный раствор H ₂ S
Селитра аммиачная	NH ₄ NO ₃
Селитра известковая	Ca(NO ₃) ₂
Селитра калиевая	KNO ₃
Селитра кальциевая	Ca(NO ₃) ₂
Селитра натриевая	NaNO ₃
Силикагель	SiO ₂ · nH ₂ O (n < 6)
Синильная кислота	водный раствор HCN
Смесь Эшка	смесь MgO и Na ₂ CO ₃
Сода бельевая (стиральная, кальцинированная, пушонка)	Na ₂ CO ₃
Сода бикарбонат (двууглекислая, питьевая, пищевая)	NaHCO ₃
Сода жидкая (каустическая)	NaOH
Сода кристаллическая	NaHCO ₃ · 10H ₂ O
Соляная кислота	концентрированный водный раствор HCl
Строительный гипс	см. жженный гипс
Сулема	HgCl ₂
Суперфосфат	смесь Ca(H ₂ PO ₄) ₂ · H ₂ O и CaSO ₄
Сурик свинцовый	Pb ₃ O ₄
Сурик железный	Fe ₂ O ₃
Сурьмяное масло	SbCl ₃
Сухой лед	CO ₂ (тв.)
Сухой (твёрдый) спирт	металгидрид (CH ₃ CHO) _x , уротропин и др.
Терпентинное масло	живичный скипидар
Тенарова синь	(Co ^{II} Al ₂)O ₄
Термит	смесь порошкообразных Al и (Fe ^{III} Fe ^{III})O ₄
Тиомочевина	CS(NH ₂) ₂
Титановые белила	TiO ₂
Турбулева синь	продукт взаимодействия Fe ²⁺ с [Fe(CN) ₆] ⁴⁻
Угарный газ	CO
Феррицианид	см. красная кровяная соль
Феррицианид	см. желтая кровяная соль
Хлорная вода	водный раствор хлора (содержит HClO и HCl)
Хлорная известь	смесь гипохлорита, хлорида и гидроксида кальция
Хромовая смесь	смесь концентрированной кислоты и бихромата калия
Хромовый купорос	CrSO ₄ · 7H ₂ O
Хромкалиевые квасцы	KCr(SO ₄) ₂ · 12H ₂ O
Хромлик	K ₂ Cr ₂ O ₇ , реже Na ₂ Cr ₂ O ₇ · 2H ₂ O
Царская водка	смесь 1 объема концентрированной HNO ₃ и 3 объемов HCl
Цемент Сореля	2MgO + MgCl
Цементит	Fe ₃ C
Цинковые белила	ZnO
Циркониевые белила	ZrO ₂
Чилийская селитра	см. натронная (натриевая) селитра
Элегал	SF ₆
Электрокорунд	α-Al ₂ O ₃
Эслатит	ионообменная смола
Ювелирная бура	Na ₂ B ₄ O ₇ · 5H ₂ O

ПРИЛОЖЕНИЕ 8. Критерии подобия

Критерий	Формула		Соотношение
	1	2	
<i>Критерии для моделирования газогидродинамических явлений</i>			
Рейнольдса	$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}$	где V – скорость движения жидкости (газа) в канале диаметром d (в канале щелевого типа толщиной δ = d); ν – кинематическая вязкость жидкости	Сил инерции и вязкости
Эйлера	$Eu = \frac{\Delta P}{\rho \cdot V^2}$	где ΔP – перепад (градиент) давлений; ρ – плотность среды (жидкости, газа)	Статического и динамического давлений
Фруда	$Fr = \frac{V^2}{g \cdot d}$	где g – ускорение свободного падения тела (ускорение силы тяжести)	Сил движущегося потока и земного тяготения
Струхала	$St = \frac{V}{w \cdot d}$	где w = $\frac{1}{\tau}$ – частота; τ – время	Скорости потока и частоты её изменения
Маха	$M = \frac{V}{V_{зв}}$	где V _{зв} – скорость звука	Скорости потока и звука
Вебера	$We = \frac{\rho \cdot w^2 \cdot d}{\sigma}$	где σ – поверхностное натяжение	Инерционных и капиллярных сил
Температурный	$Te = \frac{V^2}{C_p \cdot T}$	где C _p – теплоёмкость; T – температура	Скорости движения и температуры
<i>Комплексные критерии подобия</i>			
Лагранжа	$La = Eu \cdot Re = \frac{\Delta P \cdot d}{\eta \cdot V}$	где η – коэффициент динамической вязкости	Сил статического давления и вязкости расплава
Галилея	$Ga = \frac{Re^2}{Fr} = \frac{g \cdot d^3}{\nu^2}$		Сил тяжести и вязкости
Архимеда	$Ar = \frac{Re^2 \cdot (\rho_0 - \rho)}{\rho \cdot Fr}$		Сил тяжести и плотности жидкости
Грасгофа	$Gr = \frac{Re^2 \cdot (T - T_0)}{T_0 \cdot Fr}$		Сил тяжести и объёмного расширения при различной температуре

Критерии теплового подобия		
Био	$Bi = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}$, где α, λ – коэффициенты теплоотдачи и теплопроводности соответственно	Перепада температур в твердом теле и температурного напора
Нуссельта	$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda} = f(Re, Pr, Gr, l/d)$, где l – длина канала (рабочей полости в форме d – диаметр канала или половина толщины канала щелевого типа)	Теплоотдачи в результате движения потока (жидкости, газа) к поверхности тела чистой теплопроводностью
Пекле	$Pe = \frac{V \cdot d}{\alpha}$	Интенсивности переноса тепла конвекцией и переноса теплопроводностью
Прандтля	$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$	Инерционности поля скорости к полю температур при переносе тепла в движущейся жидкости
Фурье	$Fo = \frac{\alpha \cdot \tau}{d^2}$	Тепла перестройки температурного поля твердого тела и тепла изменения внешних термических условий
Критерий механического подобия		
Ньютона	$Ne = \frac{F \cdot \tau^2}{m \cdot d} = \frac{F \cdot d}{mV^2}$, где F – сила	Действующих в системе сил

ПРИЛОЖЕНИЕ 9. Размеры шаблонов для индукционных тигельных печей

Размеры шаблонов для ИТП различной металлоёмкости приведены в таблице, а схема шаблона с указанием размеров - на рисунке.

Металлоёмкость тигля индукционной печи (по стали), кг	Размеры шаблона, мм				
	D	d	H	R	δ
15	110	110	220	55	1,5–2,0
20	170	160	220	80	1,5–2,0
50	230	190	375	95	2,0–3,0
150	275	225	520	113	3,0–3,5

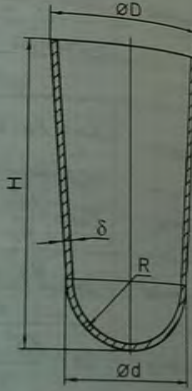


Схема шаблона

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Адамов И.В. Производство отливок из легированных сталей. Учеб. пособие. – Днепропетровск, ДМетИ, 1982. – 84 с.
- Аксенов А.Т., Танкелевич Б.Ш., Паршин А.Н. Водорастворимые составы для стержней на основе полимеров. // Литейное производство. – 1979. – С. 28–29.
- Александров В.М. Технология осаждения пироуглерода на поверхность форм № 10. – С. 22–23.
- Алешин Н.П., Щербинский В.Г. Радиационная, ультразвуковая и магнитная дефектоскопия металлоизделий: Учебник для ПТУ. – М.: Высшая школа. – 1991. – 271 с.
- Анисович Г.А. Влияние продолжительности течения металла на кинетику затвердевания отливки. / В сб. Теплообмен между отливкой и формой – Минск. Высшая школа. – 1967. С. 50–53.
- Антиспарители при литье по выплавляемым моделям / Зарезкая Г.М., Иванов В.Н., Яковлева Г.В. и др. – Литейное производство. – 1973. – № 5. – С. 1–2.
- Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Изд. 3-е, доп. и перераб. – М.: Машиностроение. – 1968. – 688 с.
- Анчеева З.К., Ларин В.В., Другашов А.В., Голованова Н.И. Влияние раскислителей и других технологических факторов на количество неметаллических включений в стали 2Х13Л. / В сб. Точное литье. / Под ред. Г.П. Борисова и А.С. Лакеева. – Киев.: ИПЛ АН УССР, 1970. – С. 13–20.
- Армирование оболочковых форм слудой при литье по выплавляемым моделям / Тимофеев Г.И., Евстигнеев А.И., Лобанова Л.Ф. и др. // Литейное производство. – 1980. – № 7. – С. 20.
- Армирование оболочковых форм фарфоровой крошкой / Евстигнеев А.И., Петров В.В., Куренков В.И. и др. // Литейное производство. – 1992. – № 7. – С. 21–22.
- Армирующая суспензия для оболочковых форм при литье по выплавляемым моделям / Тимофеев Г.И., Евстигнеев А.И., Зиновьев Ю.А. и др. // Литейное производство – 1981. – № 5. – С. 18–20.
- Бабайцев И.В., Карнаух Н.Н. Безопасность производства и применения порошковых экзотермических материалов в металлургии. – М.: Металлургия. – 1979. – 72 с.
- Бабаскин Ю.З. Структура и свойства литой стали. – Киев: Наукова думка, 1983. – 240 с.
- Бавер А.И., Сидоров И.М., Чайкин М.И. и др. Осаждение пироуглерода на корундовых формах при прокатке в вакууме. // Литейное производство. – 1978. – № 6. – С. 28–29.
- Бакакин Г.Н., Любченко А.П. Износостойкость и строение чугуна, модифицированного РЗМ. // Литейное производство. – 1967. – № 9. – С. 24–25.
- Баландин Г.Ф. Основы теории формирования отливки: Учеб. пособие. В 2-х ч. Ч. 1. Тепловые основы теории. Затвердевание и охлаждение отливки. – М.: Машиностроение, 1976. – 328 с.
- Баландин Г.Ф., Заболотский А.А. Определение технологических режимов получения отливок с односторонне направленной кристаллической структурой: Сб. Основы образования литейных сплавов. Труды XIV Совещания по теории литейных процессов. – М.: Наука. – 1970. – С. 92–97.

18. Бараданьянц В.Г. Гипсовые пресс-формы для литья по выплавляемым моделям. Сб. Методы получения отливок повышенной точности. — М.: Машиностроение, 1958. — С. 22–29.
19. Баум Б.А., Ковалёв Ю.Г., Радостев А.Г. Повышение качества отливок из лёгких сплавов. Сб. научн. тр. ППИ. — Пермь: ППИ, 1977. — № 200. — С. 133–139.
20. Беляев М.В., Пепелин А.Б., Ислентьев Ю.Е. Новое поколение оборудования для прокатывания и заливки форм в литье по выплавляемым моделям. // Литейное производство, 1997. — № 10. — С. 21–22.
21. Беляева А.Ф., Кряковский Ю.В., Паисов И.В. Влияние редкоземельных металлов на структуру и свойства конструкционной стали. // Металловедение и термическая обработка металлов. — 1965. — № 9. — С. 37–41.
22. Бескременезёмные керамические формы для направленной кристаллизации при литье лопаток газотурбинных двигателей / Каблов Е.Н., Деев В.В., Сондаренко Ю.А., Нарский А.Р. — Литейное производство, 2003. — № 5. — С. 17–20.
24. Бибиков Е.Л., Лебедев В.Б., Надежин А.М. Повышение качества и надёжности литых изделий. Сб. науч. тр. ЯПИ и РАТИ. — Ярославль: ЯПИ, 1976. — С. 116–121.
25. Бирзвалк Ю.А. Основы теории и расчёта кондукционных МГД-насосов постоянного тока. — Рига: Зинатне, 1968. — 236 с.
26. Богданов М.Т. Сплавы турбинных лопаток. // Литейное производство. — 1969. — № 8. С. 11–13.
27. Богомолова Н.А. Практическая металлография: Учебник для техн. училищ. Изд. 2-е. — М.: Высшая школа, 1982. — 272 с.
28. Боштейн С.З. Строение и свойства металлических сплавов. — М.: Металлургия, 1971. — 496 с.
29. Болдырев В.В. Механические методы активации неорганических веществ. // ВХО им. Д.И. Менделеева — 1988. — Т. XXXIII. — № 4. — С. 374–383.
30. Борнацкий И.И. Десульфурация металла. — М.: Металлургия, 1970. — 320 с.
31. Братухин А.Г., Ходоровский Г.Л., Ясинский К.К. Состояние и перспективы развития фасонного литья титановых сплавов. // Литейное производство. — 1993. — № 4. — С. 21–22.
32. Браун М.П. Микролегирование стали — Киев: Наукова думка. — 1982. — 303 с.
33. Бунин К.П., Баранов А.А. Металлография — М.: Металлургия, 1970. — 254 с.
34. Бутаков Д.К. Технологические основы повышения качества легированной стали для отливок. — М.-Свердловск: Машгиз, 1963. — 192 с.
35. Буханова А.А., Толорай В.Н. О структуре и свойствах монокристаллов никелевых жаропрочных сплавов. / В кн.: Жаропрочные и жаростойкие стали и сплавы на никелевой основе. — М.: Наука. — 1984. — С. 213–217.
36. Вагнер К. Термодинамика сплавов. / Пер. с англ. под ред. А.Г. Спектора, А.А. Жуховицкого. — М.: Металлургия, 1957. — 179 с.
37. Вакуумное литейное оборудование для высокоскоростной направленной кристаллизации / Каблов Е.Н., Герасимов В.В., Шалимов А.С. и др. — Литейное производство. — 1995. — № 10. — С. 30–32.
38. Васин Ю.П., Логиновский А.Н., Копылов А.Н. Повышение прочности керамических форм. // Литейное производство. — 1983. — № 4. — С. 42–43.
39. Вазуль Х. Практическая металлография. Методы изготовления образцов. Пер. с нем. — М.: Металлургия, 1988. — 320 с.
40. Ващенко К.И., Софрони Л. Магнийевый чугун. — М.: Машгиз, 1960. — 486 с.
41. Вейник А.И. Расчёт отливки. — М.: Машиностроение, 1964. — 404 с.
42. Вервольская Е.Д., Хлебников А.Е. Влияние добавок церия на свойства хромоникельмоллибденовой стали для фасонного стального литья. Сб.: Сплавы редких элементов, 1982. — 256 с.
43. Верёв А. Очистка отливок. / Пер. с венг.; под ред. Г.Ф. Баландина. — М.: Машиностроение, 1982. — 256 с.
44. Карпович Ю.Ф., Глезер Г.М., Демонис И.М., Степанов В.М. — Литейное производство. — 1982. — № 4. С. 22–23.
45. Влияние влажности воздуха и содержания водорода в нержавеющей стали на производство отливок. / Чуйко Н.М., Перевазко А.Т., Андреев Б.К. и др. — Литейное производство, 1972. № 12. С. 2–3.
46. Влияние лицевых слёв на податливость оболочковой формы / Семёнова И.В., Никишин В.А., Харютина Т.И., Виноградов В.А. // Литейное производство. — 2003. — № 1. С. 20–21.
47. Влияние многократного переплава на содержание азота в нержавеющей стали / Чуйко Н.М., Перевазко А.Т., Слипченко В.Г. и др. // Металлургия и коксохимия. — Киев: Техника. 1972. — № 31. — С. 54–57.
48. Влияние направленной кристаллизации на фазовый состав и дисперсность структуры никелевых сплавов / Светлов И.Л., Кулешов Е.А., Монастырский В.П. и др. // Изв. АН СССР. Металлы. — 1990. — № 1. С. 86–93.
49. Влияние технологии выплавки и термической обработки на структуру и механические свойства стали ВНЛ-3 / Степанов В.М., Жирина Ю.А., Никольская В.Л., Колобашкин Б.М. — Литейное производство. — 1977. — № 10. — С. 11–13.
50. Возбужденский В.М., Добродеев В.В. Повышение качества графитовых форм с использованием в составе оболочки микропорошка алюминия. / В сб. Совершенствование технологических процессов в литейном производстве. Ярославль: ЯПИ, 1983. — С. 99–101.
51. Выплавление моделей из оболочковых форм / Гаранин В.Ф., Озеров В.А., Муркина А.С., Куренкова О.А. // Литейное производство. — 1997. — № 2. С. 16–19.
52. Вяткин И.П., Кечин В.А., Машуков С.В. Рафинирование и литье перичного магния. — М.: Металлургия, 1974. — 306 с.
53. Газы в цветных металлах и сплавах / Чернега Д.Ф., Бялик О.М., Иванчук Д.Ф., Ремизов Г.А. — М.: Металлургия, 1982. — 176 с.
54. Гайдук В.В., Кулыгин Г.В. Влияние состояния поверхности отливок лопаток турбин на их эксплуатационные свойства. // Литейное производство. — 1971. — № 7. — С. 3.
55. Гайсинский М., Адлов Ж. Радиохимический словарь элементов / Пер. с англ. Б.Ф. Мясоедова, под ред. С.С. Родина. — М.: Атомиздат. — 1968. — С. 256.
56. Гаранин В.Ф., Муркина А.С., Куренкова О.А. Оценка качества гидролизированных растворов этилсиликата. // Литейное производство. — 1997. — № 7. С. 29–30.
57. Гаранин В.Ф., Фирсов В.Г., Муркина А.С. Влияние режимов сушки на прочность оболочек для литья по выплавляемым моделям. // Литейное производство. 1993. — № 12. — С. 15–17.
58. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Металловедение. Методы анализа, лабораторные работы и задачи. — М.: Металлургия. — 1983. — 384 с.
59. Гиршович Н.Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. — Л.: Машиностроение. — 1966. — 562 с.
60. Гиршович Н.Г., Алексеев А.Г. Исследование герметичности серых чугунов. // Литейное производство. — 1966. — № 5. — С. 25–26.

61. Гиршович Н.Г., Егоров Е.И. Влияние водорода на структуру и свойства чугуна. / Сб. Свойства сплавов в отливках. / Под ред. Н.Г. Гиршовича. — М.-Л.: Машгиз, 1956. — С. 286—298.
62. Готов Е.Б., Иванов Ю.А., Гречко В.Н. Литье магниевого сплава по выплавляемым моделям. // Литейное производство. — 1996. — № 3. — С. 21—22.
63. Голянов С.П. Технологические особенности изготовления отливок лопаток из жаропрочных сплавов с монокристаллической структурой. // Литейщик России. — 2004. — № 6. С. 28—30.
64. Гольдштейн Я.Е. Микролегирование стали и чугуна. — М.—Свердловск: Машгиз, 1959. — 200 с.
65. Горюнов И.И. Размерная точность отливок, получаемая при литье под давлением и по выплавляемым моделям: Сб. Точность и качество поверхности отливков. / Под ред. Ф.Д. Оболенцева — М.-Л.: Машгиз, 1962. — С. 40—50.
66. Горюнов И.И., Степанов Н.М. Выплавка стали в индукционных печах малой емкости. / В кн. Новое в теории и практике литейного производства. Под ред. Н.Г. Гиршовича. — М.-Л.: Машгиз. — 1956. — С. 259—272.
67. Грузин В.Г. Температурный режим литья стали. — М.: Metallurgizdat, 1962. — 352 с.
68. Дегазация нержавеющей стали в индукционных печах аргоном и шлаками. / Перевязко А.Т., Федоров В.Л., Червко П.В. и др. // Литейное производство. — 1981. — № 3. С. 8—9.
69. Денисов В.А., Денисов А.В. Метод расчёта температур затвердевания стали. // Литейное производство. 1983. — № 5. — С. 11.
70. Денисов В.А., Костенецкий С.В. Механизм образования газоусадочной пористости в осевой зоне отливки: Сб. Свойства расплавленных металлов. Труды XVI Совещания по теории литейных процессов. — М.: Наука. — 1974. — С. 135—137.
71. Десницкий В.В., Грузных И.В. Исследование и разработка способа создания направленного затвердевания тонкостенных отливок: Сб. Новое в процессах литья. — Киев: ИГЛ АН УССР, — 1974. С. 69—72.
72. Десницкий В.В., Грузных Н.В., Гуляев Б.Б. Направленное затвердевание тонкостенных отливок. // Литейное производство. — 1972. — № 11. — С. 12—13.
73. Десницкий В.В., Королёва Н.В., Шапранов И.А. Математическая модель формирования плотного строения тонкостенных отливок. // Энегомашиностроение. — 1976. — № 12. — С. 25—26.
74. Дружинин Б.И., Нефёдов Ю.В. Направленное затвердевание отливок из алюминиевых сплавов при литье по выплавляемым моделям. // Литейное производство. — 1980. — № 7. — С. 19—20.
75. Дудоров Н.С., Баскаков А.П., Исламов С.Р. Прокаливание и заливка форм в установке кипящего слоя при литье по выплавляемым моделям. // Литейное производство. — 1975. — № 4. — С. 32—33.
76. Евстигнеев А.И., Чернышов Е.А. Установки приготовления связующих растворов и суспензий для керамических и оболочковых форм. // Литейное производство. — 1984. — № 5. — С. 29.
77. Езжев В.М. Футеровочные материалы для индукционных печей // Литьё Украины. — 2004. — №11 (51). С. 31—39.
78. Жаропрочность литейных никелевых сплавов и защита их от окисления / Патон Б.Е., Строганов Г.Б., Кишкин С.Т., и др. — Киев: Наукова думка.—1987.—256с.
79. Жевтунов П.П. Литейные сплавы. — М.: Машгиз, 1957. — 432 с.
80. Зарубицкий О.Г., Дмитрук Б.Ф., Сташкевич Ф.Ф. Очистка отливок из стали 35ХГСП от керамики, окислы и сварочного флюса в расплавах щелочей. // Литейное производство. — 1983. — № 10. — С. 25—26.
81. Захватов Ю.К., Подымов А.Н. Высококачественный способ выплавки модельных составов. // Литейное производство. — 1983. — № 7. С. 20—21.
82. Защитно-упрочняющее покрытие для оболочковых форм. / Васин Ю.П., Ит-Не 4. — С. 17.
83. Знаменский Л.Г. Применение ультразвуковых полей в формообразовании из гипсовых смесей. // Литейщик России. — 2003. — № 2. — С. 25—28.
84. Зырин Г.П., Ашуга Я.Г. Исследование трещиностойкости при литье по выплавляемым моделям в вакууме. // Литейное производство. — 1968. — № 2.
85. Иванов Б.В., Юрченко И.В. Способ футеровки высокотемпературных индукционных тигельных печей. // Литейное производство. — 1980. — № 11. — С. 30.
86. Иванов В.Н. Контроль при литье по выплавляемым моделям. // Литейное производство. — 1993. — № 12. — С. 17—19.
87. Иванов В.Н. Справочник-словарь по литейному производству. — М.: Машиностроение. — 1990. — 384 с.
88. Иванов В.Н., Бубнова Л.В. Влияние температуры оболочковой формы на качество металла отливок при литье по выплавляемым моделям. // Литейное производство. — 1980. — № 3. — С. 19—20. Иванов В.Н., Чулюкова А.Д. Интенсификация отверждения форм при литье по выплавляемым моделям. // Литейное производство. — 1981. — № 3. — С. 18—20.
89. Изготовление постоянных магнитов кольцевой формы с направленной кристаллизацией / Сергеев В.В., Ларичкина Р.Я., Рабинович Ю.М. и др. — Литейное производство. — 1969. — № 8. — С. 13—14.
90. Изготовление тонкостенных отливок в керамических формах / М.Н. Евстигнеев, В.А. Рыбкин, Р.Ф. Юсупов, Ю.В. Дедашов. — Литейное производство. — 1984. — № 10. — С. 21—22.
91. Изготовление форм по выплавляемым моделям с использованием готовых этилсиликатных связующих / Озеров В.А., Гаранин В.Ф., Муркина А.С. и др. — Литейное производство. — 1990. — № 7. — С. 18—20.
92. Иодковский С.А., Сашихин Н.Н. Новый метод выплавки аустенитных сталей с заданным количеством феррита. / В сб.: Физико-химические основы производства сталей. — М.: Metallurgizdat. — 1961. — С. 32—37.
93. Использование коллоидального кремнезёма для форм при литье по выплавляемым моделям / Иванов В.В., Гарбер И.М., Железняков Л.Р., Арсеньев В.Г. — Литейное производство. — 1977. — № 5. — С. 17—18.
94. Использование кремнезёма для изготовления форм по выплавляемым моделям / Чулюкова А.Д., Шабанова Н.А., Растегин Ю.И., Иванов В.Н. — Литейное производство. — 1981. — № 11. — С. 16—17.
95. Исследование форм для литья алюминиевых сплавов по выплавляемым моделям, разупрочняемых после заливки. / Озеров В.А., Гаранин В.Ф., Муркина А.С., Чижов А.А. // В сб. Совершенствование технологических процессов в литейном производстве. — Ярославль: ЯПИ. — 1983. — С. 51—54.
96. Исследования влияния РЗМ и иттрия на литейные свойства стали. / Гладков М.И., Стасюк Г.Ф., Этлис Л.С. и др. // В сб. Свойства расплавленных металлов. Труды XVI Совещания по теории литейных процессов. — М.: Наука. — 1974. — С. 163—165.

98. Исследования кинетики выделения твердой фазы в двухфазной области затвердевания сплавов / Релях С.И., Смирнов В.М., Котешов Н.П., Ефименко И.А. — Изв. ВУЗов. Черная металлургия. — 1990. — № 4. — С. 56–58.

99. Каблов Е.Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей (сплавы, технология, покрытие) — М.: МИСИС. — 2001. — 632 с.

100. Каблов Е.Н., Светлов И.Л., Петрушин Н.В. Никелевые жаропрочные сплавы для литья лопаток с направленной и монокристаллической структурой (часть II) // Справочник по выплавляемым моделям. / В кн. Методы получения отливок, отлитых по выплавляемым моделям, получаемых по выплавляемым моделям повышенной точности. — М.: MashGIZ. — 1958. — С. 52–68.

101. Калинин В.П. Регенерация отходов форм, получаемых по выплавляемым моделям. — М.: MashGIZ. — 2002. — № 12. — С. 17–19.

102. Калюкин Ю.Н., Мальцева Ю.Ю. Малоотходные технологии литья крупногабаритных лопаток газотурбинных двигателей. / В сб. Труды V съезда литейщиков России. — М.: Радунца. — 2001. — С. 256–259.

103. Камневидный излом в стальных отливках по выплавляемым моделям / Лапина Э.Я., Ильин Г.А., Сперанская Г.И., Палей Ю.М. — Литейное производство. — 1981. — № 7. — С. 7–8.

104. Канунников Н.Н., Спиридонов Е.В., Наджмудинов Т.З. Усадочная пористость и ее влияние на некоторые свойства широкоинтервальных сплавов. // Литейное производство. — 1980. — № 5. — С. 23–24.

105. Караних Ю.А. Новая технология литья медных наконечников кислородно-конверторных фурм // Литейщик России. — 2003. — № 11. — С. 17–21.

106. Карцев А.П. Литье по выплавляемым моделям с применением керамических стержней. // Литейное производство. — 1963. — № 7. — С. 1–2.

107. Келоглу Ю.Л., Захаревич К.М., Карташевская М.И. Металлы и сплавы. Справочник 2-е изд. — Кишинёв: Карта Молдовеняск. — 1977. — 264 с.

108. Кингери У.Д. Введение в керамику. — М.: Стройиздат. — 1969. — 456 с.

109. Классификация готовых этилсиликатных связующих / Гаранин В.Ф., Муркина А.С., Озеров В.А. и др. — Литейное производство. — 1992. — № 1. — С. 22–23.

110. Клемчук Л.В., Антипенко В.Ф., Акарцев Ю.Г. Совершенствование технологии изготовления форм на основе алюмохромосфатом связующем. // Литейное производство. — 1989. — № 7. — С. 19–20.

111. Ковалев Ю.Г., Быхов Ю.М., Лукьянов В.И. Керамические формы, пропитанные пироуглеродом. // Литейное производство. — 1982. — № 10. — С. 26–27.

112. Козлов Г.Я. Керамические обложечные формы для литья крупногабаритных турбинных лопаток. / В сб. Повышение качества и эффективности литья по выплавляемым моделям. — М.: МДНТП. — 1989. — С. 80–83.

113. Козлов Г.Я., Карелин Л.П., Апилинский В.В. Повышение прочности керамических стержней пропиткой эпоксидной смолой. // Литейное производство. — 1987. — № 3. — С. 16.

114. Комбинированное рафинирование латуней. / Кимстач Г.М., Кудряков А.А., Борисов Е.С., Ларионов А.Я. — Литейное производство. — 1982. — № 1. — С. 29–30.

115. Кондаков Г.Н., Озеров В.А., Токарев А.И. Керамические формы из плавящего магнетита. / В сб. Повышение качества и надёжности литых изделий. — Ярославль: ЯПИ. — 1978. — С. 90–92.

116. Кондратьев Ю.П., Дитятковский Я.М., Заруцкий И.П. Влияние материала пресс-форм на затвердевание и охлаждение выплавляемых моделей. // Литейное производство. — 1971. — № 1. — С. 13–15.

117. Константинов Л.С., Юй-Чуань-Цзинь. Центробежная отливка фасонных деталей // Литейное производство. — 1962. — № 5. — С. 5–7.

118. Контроль и методы исследования процесса получения оболочковых форм при др. — Литейное производство. — 1976. — № 9. — С. 25–28.

119. Копылов В.М., Мазеев В.А., Темош И.И. Синтез и применение этиловых эфиров кремниевой кислоты. / В сб. Повышение качества и эффективности литья М. Оборонгиз. — 1962. — 158 с.

120. Корольев М.Л. Азот как легирующий элемент стали. — М.: Металлургиздат. — 1961. — 163 с.

121. Корольков А.М. Литейные свойства металлов и сплавов. Изд. 2-е, доп. — М.: Наука. — 1967. — 200 с.

122. Костицын Е.М. Повышение точности размеров выплавляемых моделей. / В сб. М.: МДНТП. — 1986. — С. 139.

123. Краевой В.Н. Влияние меди на кристаллизацию чугуна. // Литейное производство. — 1979. — № 4. — С. 3–5.

124. Кржижановский Р.Е., Штерн З.Ю. Теплофизические свойства неметаллических материалов. — Л.: Энергия. — 1973. — 284 с.

125. Хайн К., Кухарж Л. — М.: Металлургия. — 1987. — 320 с.

126. Кузель М.Я., Сиворцов А.А., Смеляков Н.Н. Справочник рабочего-литейщика. 2-е изд. — М-Свердловск: MashGIZ. — 1958. — 634 с.

127. Кузнецов Л.В., Малиновский Р.Р. Технология лёгких сплавов. — М.: ВИС. — 1973. — № 3. — С. 26–28.

128. Куклев Г.В. Химия кремния и физическая химия силикатов. — М.: Высшая школа. — 1966. — 464 с.

129. Кулаков Б.А., Александров В.М., Дубровин В.К. Повышение качества отливок, получаемых методом направленной кристаллизации. // Литейное производство. — 1992. — № 4. — С. 16–18.

130. Кушка Н.К., Чернега Д.Ф. Повышение плотности тонкостенных алюминиевых отливок при литье под низким давлением в керамические формы. // Литейное производство. — 1981. — № 3. — С. 11–12.

131. Кушка Н.К., Чернега Д.Ф. Получение тонкостенных отливок литьём под низким давлением в керамические формы. // Литейное производство. — 1983. — № 4. — С. 43.

132. Лакеев А.С., Щегловитов Л.А., Кузьмин Ю.Д. Прогрессивные способы изготовления точных отливок — Киев: Техника. — 1984. — 160 с.

133. Ларин В.С., Васильев В.А. Поверхностные дефекты на отливках из нержавеющей стали и их предупреждение. // Литейное производство. — 1969. — № 7. — С. 38.

134. Ларионов А.Я., Серебряков С.П. Взаимодействие титановых сплавов с глинозёмистой керамикой. // Литейное производство. — 1976. — № 1. — С. 16–17.

135. Ларионов В.И., Крамаров А.О. Особенности поведения глинозёмистых и кремнезёмистых включений при кристаллизации стали. / В сб. Свойства расплавленных металлов. Труды XVI Сессии по теории литейных процессов. — М.: Наука. — 1974. — С. 97–99.

136. Лебедев К.П., Вьюгин Л.Ф., Шеметев Г.Ф. Газосодержание опоянных бронз. / В сб. Свойства расплавленных металлов. Труды XVI Сессии по теории литейных процессов. — М.: Наука. — 1974. — С. 122–124.

139. Лебедев К.П., Ионкина Е.М. Никелевые жаропрочные сплавы для литья без вакуума. // Литейное производство. — 1970. — № 8. — С. 7—9.

140. Лебедев П.В., Клюкин Ю.В. Способ направленной кристаллизации в формах, нагретых ниже ликвидуса сплава с подогревом электрическим током / В сб. Прогрессивные технологические процессы в литейном производстве. — Ярославль: ЯПИ. — 1985. — С. 89—92.

141. Лебедев П.В., Кононенко В.К., Куликов В.Н. Разработка технологических вариантов монокристаллического литья. / В сб. Повышение качества и надежности литых изделий. — Ярославль: ЯПИ. — 1976. — С. 99—106.

142. Леви Л.И. Азот в чугуне для отливок. — М.: Машиностроение, 1964. — 228 с.

143. Леви Л.И., Александрова А.Н. О содержании водорода в чугуне. // Литейное производство. — 1968. — № 2. — С. 30—31.

144. Леви Л.И., Ортенберг Л.М. О влиянии оксидных включений на структуру и свойства чугуна. // Литейное производство. — 1969. — № 7. — С. 28—29.

145. Леви Л.И., Фролов М.М., Столяр Г.Ф. Влияние обработки сплава ЮНКД24 аргоном на содержание неметаллических включений. // Литейное производство. — 1970. — № 8. С. 23—24.

146. Леонтьев М.В. Практика использования керамических фильтров фирмы "LANIK" в литейном производстве и металлургии. // Литьё Украины. — 2004. — № 1. — С. 21—27.

147. Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Линецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. — М: Металлургия, 1980. — 320 с.

148. Липницкий А.М. Плавка чугуна и сплавов цветных металлов. — М-Л.: Машгиз — 1960. — 180 с.

149. Литейное производство за рубежом / Шаповал В.М., Шумихин В.С., Бурман П.Н., Захарченко Э.В. — Киев: Наукова думка, — 1983. — 264 с.

150. Литейное производство: Учебник для металлургических специальностей вузов, 2-е изд. Перераб. и доп. / Михайлов А.М., Бауман Б.В., Благоев Б.Н. и др. — М.: Машиностроение. — 1987. — 256 с.

151. Литейные формы для изготовления титановых отливок / Черников В.А., Ходоровский Г.Л., Ларионов В.Н., Хлыстов Е.Н. — Литейное производство. — 1992. — № 7. — С. 19—21.

152. Литьё в упрочнённые керамические формы / Черников В.А., Доценко В.К., Севрук О.К. и др. — Литейное производство. — 1969. — № 8. — С. 38.

153. Литьё по выплавляемым моделям. 3-изд перераб. и доп./ В.Н. Иванов, С.А. Казеннов, Б.С. Курчман и др.; под общ. ред. Я.И. Шкленника, В.А. Озерова. — М.: Машиностроение, 1984. — 408 с.

154. Ломоносов Ю.М., Полисадов В.Н. Влияние степени чистоты расплавленной стали на её трещиностойкость. / В сб. Свойства расплавленных металлов. Труды XVI Совещания по теории литейных процессов. — М.: Наука. — 1974. — С. 160—163.

155. Лухонин М.В., Павленко С.И., Авакумов Е.Г. Механохимический синтез муллита из вторичных минеральных ресурсов. // Огнеупоры и техническая керамика. — 2003. — № 6. — С. 39—42.

156. Любецкий Д.Г. Производство стали и отливок в вакууме. — Киев — М.: Машгиз. — 1959. — 174 с.

157. Магниево-алюминиевые сплавы. 4.2. Справочник. Технология производства и свойства отливок и деформированных полуфабрикатов / Под ред. И.И. Гурьева, М.В. Чухрова. — М.: Металлургия. — 1978. — 296 с.

158. Магницкий О.Н. Литейные свойства титановых сплавов / Под ред. Б.Б. Гуляева. — Л.: Машиностроение. — 1968. — 120 с.

159. Маркевич А.В. Производство точных отливок из жаропрочных сплавов. // Литейное производство. — 1997. — № 10. — С. 15—16.

160. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. — М.: Наука, — 1980. — 566 с.

161. Матусевич И.С. Керамические формы на основе огнеупорных оксидов. // Литейное производство. — 1970. — № 6. — С. 1.

162. Матусевич И.С. Плавка стали и сплавов в основных индукционных печах. // Литейное производство. — 1971. — № 11. — С. 3—4.

163. Матусевич И.С. Повышение качества и эффективности литья по выплавляемым моделям. — М.: МДНТП. — 1989. — С. 56—59.

164. Медведев М.А., Прищепов О.Ф., Новосельцев М.И. Износостойкость деталей из высокопрочного чугуна, полученных вакуумным всасыванием. // Литейное производство. — 1981. — № 1. — С. 25.

165. Медведев Я.И. Газовые процессы в литейной форме. — М.: Машиностроение, 1980. — 200 с.

166. Методы контроля и исследования процесса литья по выплавляемым моделям. Исходные данные для разработки проектного задания на лабораторию, обслуживаемую И.И. Ивановым и др. — М.: НИИТАвтопром. — 1988. — 100 с.

167. Мильман Л.В., Ильичёва Л.В., Боровский О.Б. Влияние вакуумирования расплава на кристаллизацию графита. / В сб. Свойства расплавленных металлов. Труды XVI Совещания по теории литейных процессов. — М.: Наука. — 1974. — С. 140—146.

168. Мир художественного литья. История технологий. / Бех Н.И., Васильев В.А., Гини Э.Ч., Петриченко А.М. // Под общ. ред. В.А. Васильева. — М.: Металлург. — 1997. — 272 с.

169. Мишанова В.Г., Ходоровский Г.Л. Влияние физико-химических условий плавки на качество титановых отливок. // Литейное производство. — 1992. — № 4. — С. 10—11.

170. Могилёв В.К., Лев О.И. Справочник литейщика: Справочник для профессионального обучения рабочих на производстве. — М.: Машиностроение. — 1988. — 272 с.

171. Муркина А.С., Озеров В.А., Шприц Б.Б. Применение низкоконцентрированных этилсиликатных связующих растворов в производстве форм по выплавляемым моделям. / В сб. Прогрессивные процессы и материалы в литейном производстве. — Ярославль: ЯПИ. — 1979. — С. 86—87.

172. Муркина А.С., Оспенникова О.Г., Хайченко В.Е. Исследование процессов сушки оболочковых форм. // Литейное производство. — 2003. — №1. — С. 14—16.

173. Мухоморов И.А. Классификация и причины возникновения газовых раковин в чугунных отливках. / В сб. Труды пятого съезда литейщиков России. — М.: Радуга. — 2001. — С. 140—143.

174. Назаренко В.Р. Влияние раскислителей и легирующих элементов на образование камневидного излома в отливках из стали 35ХГСП. // Литейное производство. — 1982. — № 10. — С. 13.

175. Напалков В.И., Махов С.В. Легирование и модифицирование алюминия и магния. — М.: МИСИС. — 2002. — 376 с.

176. Направленная кристаллизация жаропрочных сплавов / Кишкин С.Т., Строганов Г.Б., Логунов А.В. и др. — Литейное производство. — 1984. — № 4. — С. 17—19.

177. Напалков В.С. Термическая обработка металлов. Учеб. пособие для вузов. — Киев.: Вища школа. — 1980. — 288 с.

- Ходоровский Г.Л. Вакуумные гарнисажные печи. — М.: Металлургия. — 1967. — 272 с.
178. Неуструев А.А., Ходоровский Г.Л. Производство фасонных отливок из сталей и жаропрочных сплавов методом направленного затвердевания. // Литейное производство, 1993. — № 4. С. 25–26.
 179. Новый способ прокаливания форм отливок по выплавляемым моделям / В.А.Черников, О.К.Северук, В.К.Доценко и др. — Литейное производство — 1969. — № 7. — С. 31–32.
 180. О свойствах электрокорундового покрытия для литья по выплавляемым моделям / Аппилинский В.В., Машков А.К., Козлов Г.Я., Зырин Г.П. — Литейное производство. — 1971. — № 5. — С. 40.
 181. О технических условиях на порошки непрозрачного кварцевого стекла для оболочковых и керамических форм и стержней / Рассказов В.Д., Р., Савицкая К.К., Матушевич И.С., Лесников А.К. — Литейное производство. — 1982. — № 1. — С. 12–13.
 182. Общесоюзные (межотраслевые) нормы технологического проектирования чугунолитейных и сталелитейных цехов машиностроительных заводов. — М.: Машиностроение. — 1980. — 227 с.
 183. Определение границ затрудненного питания стали. / Долбатенко Е.Т., Смирнов А.П., Побежимов П.И., Назаратин В.В. — Энергомашиностроение. — 1980. — № 8. — С. 19.
 184. Осевая пористость в тонкостенном литье по выплавляемым моделям / Репях С.И., Смирнов В.М., Котешов Н.П., Снисарь И.И. — Изв. ВУЗов. Чёрная металлургия. — 1986. — № 10. — С. 93–96.
 185. Основные азотнокислые соли алюминия как связующие материалы для изготовления бескремнеземистых форм. / Матушевич И.С. Крестовников А.Н., Шкленник Я.И. Вендрих М.С. — Литейное производство. — 1966. — № 4. — С. 1–3.
 186. Оценка водных этилсиликатных связующих для оболочковых форм по выплавляемым моделям / Клинова Л.В., Калашникова З.П., Осипчик В.С., Цапенко И.Н. — Литейное производство. — 1980. — № 6. — С. 15–16.
 187. Очистка алюминиевых отливок от остатков оболочки в расплаве щелочи / Доценко В.К. Марченко В.А., Польгуев Ю.В. и др. — Литейное производство. — 1979. — № 4. — С. 26–27.
 188. Очистка точных стальных отливок от керамики в щелочных расплавах / Зарубицкий О.Г., Белецкий В.М., Степанов В.М. и др. — Литейное производство. — 1978. — № 6. — С. 33.
 189. Палубков Е.И., Шкленник Я.И. Фильтрация жидкой стали через кусковые фильтры с целью очистки её от неметаллических включений. / В сб. Основы образования литейных сплавов. Труды XIV совещания по литейным процессам. — М.: Наука. — 1970. — С. 266–268.
 190. Панкратов В.А., Кустова А.Л. Управление формированием структур направленной кристаллизации лопаток турбин / В сб. Повышение качества и эффективности литья по выплавляемым моделям. — М.: МДНТП. — 1989. — С. 105–108.
 191. Перевозкин Ю.Л., Жаденов Л.А. Неомыляемые модельные композиции для литья по выплавляемым моделям. // Литейное производство. — 1966. — № 3. — С. 5–7.
 192. Перевозкин Ю.Л., Шкленник Я.И. Алюмосиликатное связующее при литье по выплавляемым моделям. // Литейное производство. — 1969. — № 4. — С. 10–11.
 193. Перевозчиков З.П., Баженова Н.Е. Прокаливание керамических форм с заменой электрического нагрева на газовый. // Литейное производство. — 1980. — № 6. — С. 18–19.
 194. Перспективные модельные композиции для ЛВМ / Седельников В.В., Аппилинский В.В., Сабуров В.П., Деуля О.М. — Литейное производство. — 1998. — № 9. — С. 24–25.
 195. Першин П.С. Вакуумная сушка форм для литья по выплавляемым моделям. // Литейное производство. — 1983. — № 11. — С. 34–35.
 196. Першин П.С., Акутин В.Г. Развитие литья по выплавляемым моделям на Уралмашзаводе. // Литейное производство. — 1983. — № 6. — С. 23.
 197. Петрусенко С.А., Радько С.М. Выбывка стержней из алюминиевых отливок электрогидравлическим способом. // Литейное производство. — 1983. — № 10. — С. 26.
 198. Пивонка Т.С., Грэхэм Л.Д. Контроль литой структуры высококачественных сплавов вакуумной плавки / В сб. Вакуумная металлургия. Пер. с англ. А.Л. Соляревского, Е.Б. Качанова, И.П. Бармотина — М.: Металлургия. — 1973. — С. 27–33.
 199. Писарев И.Е. Свойства двухслойных керамических оболочек. // Литейное производство. — 1972. — № 10. — С. 11–13.
 200. Писарев И.Е., Муиц В.И., Иванов И.С. Безопасное прокаливание и заливка этилсиликатных оболочковых форм. // Литейное производство. — 1984. — № 9. — С. 26–28.
 201. Пичугин Б.А., Гофеншефер Л.И., Рыжов В.И. Влияние компонентов на растворимость кислорода в литейных бронзах. // Литейное производство. — 1977. — № 10. — С. 16.
 202. Плазменно-индукционная плавка магнитных сплавов. / Фролов М.М., Иванов В.П., Малиновский В.С. и др. — Литейное производство. — 1981. — № 1. — С. 9–10.
 203. Поведение при нагреве оболочковых форм, изготовленных электрофоретическим способом / Болотаева Н.С., Васильев В.А., Рыбкин В.А., Крестьянов В.И. — Литейное производство. — 1980. — № 11. — С. 14–15.
 204. Поголоцкий Д.Я. Раскисление стали. — М.: Металлургия. — 1972. — 208 с.
 205. Повышение качества поверхности отливок по выплавляемым моделям при использовании бесспиртового этилсиликатного связующего / Кириллова Т.М., Танкелевич Б.Ш., Иванова Т.В., Абадаев А.В. — Литейное производство. — 1984. — № 1. — С. 19–20.
 206. Повышение огнеупорности форм, изготовленных на жидкостекольном связующем. / Лунёва Н.А., Антипенко В.Ф., Синица В.П., Семененко А.А. — Литейное производство. — 1983. — № 3. — С. 20–21.
 207. Повышение технико-экономических показателей индукционной тигельной печи при плавке алюминиевых сплавов / Свидло А.В., Мешков М.А., Простяков А.А., Рускол В.И., Колесов В.Б. — Литейное производство. — 1981. — № 7. — С. 28.
 208. Получение плотных отливок методом направленной кристаллизации из сплавов с широким интервалом кристаллизации / А.А.Рыжиков, Г.И.Тимофеев, В.П.Журавлёв и др. // В кн.: Новое в точном литье. — Киев: ИПЛ АН УССР. — 1972. — С. 192–194.
 209. Пористые огнеупорные материалы в литье по выплавляемым моделям / С.Т.Моисеев, Г.М.Юй, В.М.Лавринов и др. — Технология производства, научная организация труда и управления, 1979. — № 4. — С. 1–2.
 210. Постнов Л.М. Усадочная пористость в стальной литой арматуре и борьба с ней. / В сб. Новое в теории и практике литейного производства. Под ред. Н.Г. Гиршовича. — М-Л: Машгиз. — 1956. — С. 89–95.
 211. Постнов Л.М., Гуляев Б.Б. Исследования влияния затвердевания металла в процессе заполнения формы на качество вливаемых отливок / В сб. Затвердевание металлов. Труды второго совещания по теории литейных процессов. Под. Ред. Б.Б. Гуляева. — М.: Машгиз. — 1958. — С. 374–396.

213. Потапов Ю.М., Мышалов С.В. Прокаливание форм в вакууме при литье по выплавляемым моделям. // Литейное производство. — 1971. — № 10. — С. 4.
214. Приготовление суспензии для керамических и оболочковых форм / Чернышов Е.А., Евстигнеев А.И., Федорова Л.А., Лащин В.И. — Литейное производство. — 1983. — № 6. — С. 24–25.
215. Применение алюмохромосферной связки при литье по выплавляемым моделям. // Литейное производство. — 1984. — № 4. — С. 23.
216. Применение отечественного коллоидного силиката натрия (кремнезоль) марок "Сигалит" в качестве термостойкого связующего в металлургическом производстве. // В сб. ст. "Сигалит" в качестве термостойкого связующего. — М.: Радуница. — 2001. — С. 341–345.
217. Производство высоко-температурных литейных лопаток авиационных ГТД / Под ред. С.И.Ящыка. — М.: Машиностроение. — 1995. — 256 с.
218. Производство точных литых деталей из никелевых сплавов при литье по выплавляемым моделям. / Кулаков Б.А., Дубровин В.К., Кулаков А.Б., Знаменский Л.Г. — Литейное производство. — 1995. — № 10. С. 24–25.
219. Пути снижения дефектности отливок из никелевых сплавов при литье по выплавляемым моделям. / Кулаков Б.А., Дубровин В.К., Кулаков А.Б., Знаменский Л.Г. — Литейное производство. — 1995. — № 10. С. 24–25.
220. Рабинович Б.В. Введение в литейную гидравлику. — М.: Машиностроение. — 1966. — 424 с.
221. Раддл Р.У. Затвердевание отливок. / Пер. с англ. В.А. Беленького. — М.: Машгиз. — 1960. — 392 с.
222. Растворимость водорода в нержавеющей стали 1X18H9 и ликвиация его при кристаллизации металла. / Чуйко Н.М., Лакомский В.И., Андреев Б.К. и др. // В сб.: Металлургия и коксохимия. — Киев.: Техника. — 1970. — № 21. С. 10–14.
223. Расчёт усадочной пористости в фасонных отливках. / Репях С.И., Смирнов В.М., Котешов Н.П., Снисарь И.И. — Изв. ВУЗов. Черная металлургия. — 1987, № 2. — С. 79–83.
224. Рафинирование алюминиевых бронз. / Колосков В.Ф., Чурсин В.М., Дегтярёв Ю.В. и др. — Литейное производство. — 1970. — № 8. — С. 10–11.
225. Рафинирование алюминиевых сплавов в вакууме. / Альтман М.Б., Гловот Е.Б., Рабинина Р.М. и др. — М.: Металлургия. — 1970. — 156 с.
226. Рашев Ц.В. Производство легированной стали. / Пер. с болг. — М.: Металлургия. — 1981. — 248 с.
227. Ребенен В.Н., Магницкий О.Н. Формирование отливок при центробежном литье по выплавляемым моделям. // Литейное производство. — 1980. — № 12. — С. 20.
228. Регенерация материала оболочковой формы на основе электрокорунда / Борисов А.В., Жуков А.А., Почкарёв Ю.А., Варенцов В.В. — Литейное производство. — 1993. — № 6. — С. 29.
229. Репях С.И. Внешние и внутренние холодильники в литье по выплавляемым моделям. // Литье Украины. — 2003. — № 12. — С. 4–11.
230. Репях С.И. Исследование влияния условий плавки на качество стали 08X14H7MЛ и усадочную пористость тонкостенных отливок. // Литье Украины. — 2005. — № 3. — С. 17–24.
231. Репях С.И. Кварцевые оболочковые формы для литья по выплавляемым моделям. // Литье Украины. — 2004. — № 12. — С. 4–6.
232. Репях С.И. Классификация выплавляемых модельных составов для точного литья. // Литье Украины. — 2003. — № 7. С. 4–12. № 8. С. 8–13.
233. Репях С.И. Некоторые вопросы литья по выплавляемым моделям. // Литье Украины. — 2005. — № 6. — С. 13–20. № 7. С. 4–9.
234. Репях С.И. О влиянии человеческого фактора на качество отливок в литье по выплавляемым моделям. // Литье Украины. — 2005. — № 9. С. 4–7.
235. Репях С.И. О свойствах модельных составов в литье по выплавляемым моделям. // Литье Украины. — 2003. — № 6. — С. 4–11.
236. Репях С.И. Образование усадочной пористости в тонкостенных отливках. // Литье Украины. — 2004. — № 3. — С. 6–16.
237. Репях С.И. Оценка склонности модельных составов к образованию утяжки в отливках. // Литье Украины. — 2003. — № 5. — С. 6–10.
238. Репях С.И. Применение холодильников в стальном литье по выплавляемым моделям. // Теория и практика металлургии. — 2000. — № 6. — С. 25–28.
239. Репях С.И. Расчёт литниково-питающих систем для литья по выплавляемым моделям. // Литье Украины. — 2003. — № 10. — С. 7–14. № 11. — С. 4–11.
240. Репях С.И. Термостатирование керамических оболочковых форм в литье по выплавляемым моделям. // Литье Украины. — 2004. — № 5. С. 10–16. № 6. — С. 9–13.
241. Репях С.И., Котяхов Л.А., Педаш А.А. Формирование точности турбинных лопаток. — // Литье Украины. — 2004. — № 1. — С. 4–13. № 2. С. 5–14.
242. Репях С.И., Смирнов В.М., Снисарь И.И. Об усадочной пористости в отливках. // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. — 1990. — № 2. — С. 77–79.
243. Ростовцев Л.И. Микролегирование стали редземельными металлами и образование плен. / В сб. Основы образования литейных сплавов. Труды XIV Совещания по теории литейных процессов. — М.: Наука. — 1970. — С. 250–252.
244. Рудницкий С.В. Производство отливок лопаток газотурбинных двигателей. // Литейное производство. — 2003. — № 1. — С. 2–3.
245. Рускол В.И. Технологические аспекты литья по выплавляемым моделям. // Литейное производство. — 1989. — № 7. — С. 22–23.
246. Руссиян С.В., Голованов Н.Н. Производство точного литья по выплавляемым моделям. — Л.: Судпромгиз. — 1958. — 346 с.
247. Рыбкин В. А. Повышение точности отливок и эффективности процесса литья по выплавляемым моделям. / В сб. Повышение качества и эффективности литья по выплавляемым моделям. — М.: МДНТП. — 1986. — С. 139.
248. Рыбкин В.А. Основные направления развития литья по выплавляемым моделям. // Литейное производство. — 1997. — № 6. — С. 19–21.
249. Рыжиков А.А., Тимофеев Г.И., Лебедев П.В. Свойства отливок с волокнистой структурой. / В сб. Основы образования литейных сплавов. Труды XIV Совещания по теории литейных процессов. — М.: Наука. — 1970. — С. 97–98.
250. Рыжиков А.А., Тимофеев Г.И., Трифонов Ю.И. О закономерностях питания отливок в двухфазном состоянии. // Литейное производство. — 1970. — № 6. — С. 26–28.
251. Самойлович Ю.А. Формирование слитка. — М.: Металлургия. — 1977. — 158 с.
252. Сапченко И.Г. Оболочковые формы, армированные стекловолокном. // Литейное производство. — 1997. — № 1. — С. 18–19.
253. Сапченко И.Г., Евстигнеев А.И., Салина М.В. Влияние технологических параметров на качество форм, изготовленных по выплавляемым моделям. // Литейное производство. — 2002. — № 4. — С. 19–20.
254. Сасса В.С. Футеровка индукционных плавильных печей и миксеров. — М.: Энергоатомиздат. — 1983. — 120 с.

255. Сварка в машиностроении. Справочник в 4-х т. / Редк.: Г.А. Николаев (пред.) и др. - М.: Машиностроение, 1978. Т.1 // Под ред. Н.А. Ольшанского. - 1978. - 504 с.
256. Семеновко А.А., Порохенко В.П., Бочаров В.П. Шликерные суспензии для оболочковых форм отливок по выплавляемым моделям. // Литейное производство. - 1977. - № 5. - С. 16-17.
257. Серебряков С.П., Лебедев А.В. Литьё с кристаллизацией под гидростатическим давлением. // Литейное производство. - 1981. - № 7. - С. 15-16.
258. Серебряков С.П., Чистяков В.В., Круглов А.И. Моделирование центробежной заливки форм. // Литейное производство. - 1978. - № 6. - С. 27-28.
259. Смирнов В.М., Хегель В. Жаропрочные сплавы. - М.: Металлургия. - 1976. - С. 239-241.
260. Сластиков А.А., Кечин В.А. Фильтрационное рафинирование расплавов (на медной основе). / В сб. Труды V съезда литейщиков России. - М.: Радунца. - 2001. - С. 231-233.
261. Смирнов В.М., Репях С.И., Снисарь И.И. Параметры технологии литья по выплавляемым моделям. / В сб. Повышение производства отливок. - Днепропетровский технологический процесс производства отливок. - Днепропетровск: ДМетИ, 1990. т.2. С. 26-27.
262. Смирнова К.Н. Получение стальных заготовок путём прессования в процессе кристаллизации. / В сб. Затвердевание металлов. Труды второго совещания по теории литейных процессов. // Под. Ред. Б.Б. Гуляева. - М.: Машиз, 1958. С. 480-483.
263. Снижение содержания неметаллических включений в алюминиевых бронзах. / Лебедев К.П., Синичкин А.М., Шеметев Г.Ф., Даниленко Э.П. - Литейное производство, 1980, №6. С. 10-11.
264. Соколов А.А., Ларионов В.И. Плавка и разливка стали. / 3-е изд. Под общей ред. А.М. Липницкого. - Л.: Машиностроение, - 1982. - 66 с.
265. Состав для выплавляемых моделей. / Омельченко В.С., Кабачева Л.П., Карцева Т.К., Ноздрин В.Д. - Литейное производство. - 1984. - №4. - С. 21-23.
266. Состав растворов, полученных при гидролизе ЭТС-32, ЭТС-40 и ЭТС-50. / Соколовский В.М., Клещевникова С.И., Дубровская Г.А. и др. - Литейное производство. - 1974. - №9. - С. 27-29.
267. Сошников Е.А., Фокин А.А., Репях С.И. Фильтрационная очистка литейных сплавов вакуумной выплавки. / В сб. Повышение технического уровня и совершенствование технологических процессов производства отливок. - Днепропетровск: - ДМетИ, - т. 2. - С. 83-84.
268. Сошников Е.А., Фокин А.А., Ядыкин А.Ю. Метод безотходной технологии изготовления деталей из жаропрочных сплавов. / В сб. Повышение технического уровня и совершенствование технологических процессов производства отливок. - Днепропетровск: ДМетИ, - т. 2. - С. 80-82.
269. Справочник литейщика. фасонное стальное литьё / Под общ. ред. Н.Н.Рубцова. - М.: Машиз, - 1962, - 612 с.
270. Справочник металлста. / Под ред. В.С.Владиславлева. - Т. 3, книга 1. - М.: Машиз, - 1959. - 560 с.
271. Справочник по чугуноному литью. / Под ред. Н.Г.Гиршовича. - 3-е изд., перераб. и доп. - Л.: Машиностроение. - 1978. - 758 с.
272. Сравнение методов рафинирования алюминиевых сплавов. / Альтман М.Б., Авдюхин В.П., Смирнова Т.И. и др. - Литейное производство. - 1969. - № 6. С.11-13.
273. Сравнительная оценка двух способов литья с направленной кристаллизацией. / Лебедев П.В., Котов В.Ф., Шварц В.И. и др. - Литейное производство. - 1980. - № 6. - С. 16-17.
274. Строганов А.И., Рысс М.А. Производство стали и ферросплавов. / 2-е изд. - М.: Металлургия. - 1979. - 504с.
275. Структура и свойства магниевого чугуна. Легированного медью / Ващенко К.И., Фирстов А.Н., Котовник Г.И., Снежко А.А. / В кн.: Технология и организация производства. - Киев.: Наукова думка. - 1967. - №5 (47) - С. 54-55.
276. Сушка и удаление модельных составов из крупнообъемных оболочек, полужидких металлов. / Бреслер М.С. - Литейное производство. - 1982. - № 7. - С. 21-23.
277. Танкелевич Б.Ш., Аксёнов А.Т., Анисимов И.Г. Влияние углеродородного состава модельных масс на качество прокатанных керамических форм. - Литейное производство. - 1983. - № 7. - С. 15-16.
278. Танкелевич Б.Ш., Демидова А.А. Удаление модельной массы при прокаливании оболочковых форм. - Литейное производство. - 1974. - № 6. - С. 34-36.
279. Тен Э.Б. Контролирующие стадии процесса фильтрационного рафинирования - 2001. - С. 65-67.
280. Тен Э.Б. Повышение качества отливок по выплавляемым моделям. / В сб. Повышение качества и эффективности литья по выплавляемым моделям. - М.: МДНТП. - 1989. - С. 119-125.
281. Теплопроводность оболочковых форм, получаемых по выплавляемым моделям / Шпиндлер С.С., Ланда М.И., Цирельман Н.М., Мамлеев Р.Ф. - Литейное производство. - 1978. - № 3. - С. 26-27.
282. Технология получения беспригарной керамической формы для литья по выплавляемым моделям / Оспенникова О.Г., Шутос А.Н., Пикулина Л.В., Тимофеев Г.И., Бушуев А.Н., Железнов Ю.Д. Метод интенсификации сушки электрофоретических форм. // Литейное производство. - 1983. - №4. - С. 43-44.
283. Тимофеев Г.И., Бушуев А.Н., Железнов Ю.Д. Метод интенсификации сушки электрофоретических форм. // Литейное производство. - 1983. - №4. - С. 43-44.
284. Тимофеев Г.И., Данилин В.П., Шелкунов С.О. Факторы плотности отливок из стали 45П по выплавляемым моделям. // Литейное производство. - 1976. - № 9. - С. 28.
285. Тимофеев Г.И., Евстигнеев А.И. Использование отработанной смеси для изготовления форм по выплавляемым моделям. // Литейное производство. - 1980. - № 3. - С. 21-22.
286. Тимофеев Г.И., Марширов В.В., Трифонов Ю.И. Повышение качества отливок, полученных под регулируемым давлением. // Литейное производство. - 1983. - № 4. - С. 27.
287. Тимофеев Г.И., Сапченко И.Г., Евстигнеев А.И. Армирование оболочковых форм вспученным перлитом. // Литейное производство. - 1991. - № 6. - С. 30-31.
288. Тимофеев Г.И., Северюхин Н.В., Лебедев П.В. Влияние добавок редкоземельных и редких металлов на герметичность и другие свойства медных сплавов. / В сб. тезисов докладов - Редкоземельные металлы в сплавах Ч.И. Повышение качества сталей и сплавов путём легирования редкими и редкоземельными элементами. - Киев-Одесса.: ИПЛ АН УССР. - 1968. - С. 115-121.
289. Тимофеев Г.И., Филатов В.Я. Центробежная машина для фасонных отливок // Литейное производство. - 1970. - № 8. - С. 38-40.

- Производство фасонных отливок из титановых сплавов / Бибииков Е.Л., Глазунов С.Г., Неуструев А.А., Ходоровский Г.Л., Ясинский К.К. - М.: Металлургия. - 1983. - 296 с.
290. Титановые сплавы. Производство фасонных отливок из титановых сплавов / Бибииков Е.Л., Глазунов С.Г., Неуструев А.А., Ходоровский Г.Л., Ясинский К.К. - М.: Металлургия. - 1983. - 296 с.
291. Точное литье цветных сплавов в гипсовые и керамические формы / Крестнер О.Е., Бараданыч В.К., Лапидовская Л.А., Лотарева О.Б. - М.: Машиностроение. - 1968. - 290 с.
292. Трофимов М.Г. Футеровка индукционных печей. - М.: Металлургия. - 1968. - 288 с.
293. Увеличение термостойкости оболочковых форм при снижении расхода этилсиликата / Рошан Н.Р., Холоденко Ю.Ш., Кушаньев В.И., Морозов В.И. - Литейное производство. - 1984. - № 12. - С. 12-13.
294. Уикс К.Е., Блок Ф.Е. Термодинамические свойства 65 элементов, их окислов, галогенидов, карбидов и нитридов. - М.: Металлургия. - 1965. - 240 с.
295. Улучшение поверхности силлиманитокорундовых форм / Серебряков С.П., Лапионов А.Я., Цельмович В.А., Мартыновский В.В. - Литейное производство. - 1984. - № 8. - С. 22.
296. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. / Глав. Ред. И.П. Галямина. - М.: Советская энциклопедия. - 1979. - 400 с.
297. Управление формированием качественных отливок / Тен Э.Б., Бибииков А.М., Гришин В.М., Киманов Б.М. - Литейное производство. - 2003. - № 6. - С. 5-8.
298. Устранение поверхностных дефектов стальных отливок по выплавляемым моделям / Александров В.М., Васин Ю.П., Аверьянов Е.Ф. и др. - Литейное производство. - 1977. - № 5. - С. 24-25.
299. Фертлатер И.Б., Старченко Г.Г. Изготовление отливок из алюминиевых сплавов литьём противодавления в керамические формы. // Литейное производство. - 1983. - № 3. - С. 16.
300. Фирсов В.Г., Гаранин В.Ф., Озеров В.А. Живучесть этилсиликатных связующих. / В сб. Повышение качества и эффективности литья по выплавляемым моделям. - М.: МДНТП. - 1989. - С. 36-42.
301. Формирование стальных отливок по выплавляемым моделям с кристаллизацией под давлением. / Чернов Н.И., Пахоменко М.Д., Гречко В.Н., Караник Ю.А. - Литейное производство. - 1993. - № 4. - С. 22-24.
302. Формовочные материалы и технология литейной формы: Справочник (Технология литейного производства). / С.С. Жуковский, Г.А. Анисович, Н.И. Давыдов, и др.; Под общ. ред. С.С. Жуковского. - М.: Машиностроение. - 1993. - 432 с.
303. Фролов М.М. Расчёт питающего стояка отливок по выплавляемым моделям. // Литейное производство. - 1977. - № 10. - С. 24.
304. Хаютин С.Г. Капиллярная и рентгеновская дефектоскопия и рентгеноструктурный анализ. // Литейное производство. - 2003. - № 1. С. 23-26.
305. Хенкин М.Л. Механические свойства отливок при литье по выплавляемым моделям. / В кн. Методы получения отливок повышенной точности. - М.: Машгиз. - 1958. - С. 69-78.
306. Химушин Ф.Ф. Жаропрочные стали и сплавы. - М.: Металлургия. - 1969. - 752 с.
307. Химушин Ф.Ф. Легирование, термическая обработка и свойства жаропрочных сталей и сплавов. - М.: Оборонгиз. - 1962. - 336 с.
308. Химушин Ф.Ф. Нержавеющие стали. - М.: Металлургиздат. - 1963. - 600 с.
309. Ходаков Г.С. Физика измельчения. - М.: Наука. - 1972. - 307 с.
310. Ходоровский Г.Л. Некоторые итоги разработки и развития титанового литья. // Литейное производство. - 2003. - № 1. - С. 6-8.
311. Хроматографический анализ этилсиликата и его гидролизованных растворов / Богданович Л.И., Житкова Л.А., Старикова К.С. и др. - Литейное производство. - 1976. - № 12. - С. 24-26.
312. Чалмерс Б. Теория затвердевания. / Пер. с англ. В.А. Алексеева, под ред. М.В. Приданцева. - М.: Металлургия. - 1988. - 288 с.
313. Черепанов В.Н., Головской С.И. Особенности технологии центробежного литья фасонных отливок. // Литейное производство. - 1977. - № 10. - С. 24-25.
314. Чернов Н.И., Игнатов А.И., Гречко В.Н. Литьё алюминиевых заготовок по выплавляемым моделям с кристаллизацией под давлением. // Литейное производство. - 1995. - № 2. - С. 12-13.
315. Чернов Н.М., Гречко В.Н. Изготовление отливок из стали ВНЛ-3 по выплавляемым моделям с кристаллизацией под давлением. // Литейное производство. - 1999. - № 2. - С. 34-35.
316. Чернов Н.М., Игнатов А.И. Литьё по выплавляемым моделям с кристаллизацией под давлением. // Литейное производство. - 1996. - № 6. - С. 15-17.
317. Чернышов Е.А., Уваров Б.И. Совершенствование технологии приготовления этилсиликатного связующего. // Литейное производство. - 1984. - № 8. - С. 21-22.
318. Чудаикин А.И., Калинин В.П. Псевдооживленная среда как средство управления кристаллизацией отливки. // Литейное производство. - 2004. - № 12. - С. 19-20.
319. Чулкова А.Д. Усовершенствование технологии литья по выплавляемым моделям. // Литейное производство. - 1982. - № 1. - С. 15-16.
320. Чулкова А.Д., Иванов В.Н. Некоторые свойства оболочковых форм при высокой температуре. // Литейное производство. - 1980. - № 6. - С. 13-14.
321. Чулкова А.Д., Яковлева Г.В., Чебурков Е.М. Исследование и совершенствование технологии изготовления суспензий и форм. / В сб. Повышение качества и эффективности литья по выплавляемым моделям. - М.: МДНТП. - 1989. - С. 71-75.
322. Шапранов И.А., Мутилов В.Н., Чивкин Я.Е. Способ изготовления крупногабаритных отливок лопаток газовых турбин. // Литейное производство. - 1983. - № 5. - С. 15.
323. Шаров М.В., Гудченко А.П. Изучение взаимодействия водорода с лёгкими сплавами в процессе плавнения. / В сб. Металлургические основы литья легких сплавов. - М.: Оборонгиз. - 1957. - С. 306-330.
324. Шатов А.Я., Шагалов В.Л. Влияние неметаллических включений на трещиностойкость стали 30ХГСФЛ // Литейное производство. - 1982. - № 4. - С. 14-15.
325. Шеметев Г.Ф., Лебедев К.П. Неметаллические включения в оловянных бронзах. // Литейное производство. - 1969. - № 4. - С. 29-30.
326. Шипулин Н.В. Предотвращение засоров в отливках по выплавляемым моделям. // Литейное производство. - 1969. - № 5. - С. 40-41.
327. Шипулин Н.В. Упрощённые формы при литье по выплавляемым моделям. // Литейное производство. - 1969. - № 12. - С. 32-33.
328. Шипулин Н.В., Кириевский Б.А., Чихачёв В.В. Интенсификация процесса прокаливания форм при литье по выплавляемым моделям. // Литейное производство. - 1982. - № 7. - С. 23-24.
329. Шкленник Л.Я., Медведев Я.И. Газопроницаемость и прочность оболочек по выплавляемым моделям. // Литейное производство. - 1978. - № 2. - С. 21-23.

330. Шкленник Я.И. Изготовление литейных форм при литье по выплавляемым деталям. / В сб. Методы получения отливок повышенной точности. - М.: Машгиз. - 1958. - С. 30-43.
331. Шлиндлер С.С., Ланда М.И., Мамлеев Р.Ф. Получение плотных пустотелых отливок направленным затвердеванием. // Литейное производство. - 1980. - № 11. - С. 13-14.
332. Шлиндлер С.С., Неуструев А.А., Мамлеев Р.Ф. Исследование термомеханических свойств оболочковых форм по выплавляемым моделям. // Литейное производство. - 1983. - № 3. - С. 19-20.
333. Шлис Х.И. Поведение неметаллических включений в стали при кристаллизации и деформации. - М.: Металлургия. - 1971. - 126 с.
334. Шульте Ю.А. Пути совершенствования плавки стали для фасонного литья. // Литейное производство. - 1970. - № 4. - С. 8-11.
335. Шульте Ю.А., Волчок И.П., Пинчук Е.И. Неметаллические включения и разрушение литой стали. // Литейное производство. - 1971. - № 3. - С. 29-31.
336. Этилсиликатные суспензии для керамических форм. / Гуляева Т.Б., Иоффе М.А., Максимков В.Н., Вечерская Г.И. - Литейное производство. - 1992. - № 6. - С. 18.
337. Юсипов Р.Ф., Рыбкин В.А. Сборные формы для литья по выплавляемым моделям. // Литейное производство. - 1984. - № 4. - С. 35.
338. Юсипов Р.Ф., Рыбкин В.А., Степанов Ю.А. Легкоразрушаемые формы для тонкостенных отливок из алюминиевых сплавов по выплавляемым моделям. // Литейное производство. - 1981. - № 8. - С. 32-33.
339. Явойский В.И. Теория процессов производства стали. - М.: Металлургия. - 1967. - 798 с.
340. Яковлев Б.Н., Нагиев Р.Г. Переплав отходов нержавеющей стали в высокочастотных индукционных печах с основной футеровкой. // Литейное производство. - 1982. - № 10. - С. 11-13.
341. Chipman J., Corregan Donald A. Prediction of the solubility of nitrogen in molten steel trans. Metallurg. Soc. AIME. - 1965, 233, - № 7, 1249-1252.
342. Durber G., Osgerby S. // Metals Technol. - 1984. - V.11. - № 4. - P. 129-137.
343. Giamei A.F. and Tschinkel J.G. // Metallurgical Transactions. - 1976. - V.7A (September). - P. 1427-1434.
344. Hort R.T., Wallace W. // Intern. Metals reviews. - 1976. - V.21. - №1. - P.1-24.
345. Meetham G.W. Trace elements in superalloys overview // Metals Techn. - 1984. - V.11. - № 10. - P. 414-418.
346. Nakagawa Y.G., Murakami K., Ohtomo A., Saiga Y. // Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan. - 1980. - V.20. - № 9. - P. 614-623.
347. Opil W.R., Grant N.G. Alloys. Trans. AIME - 1950. - v.188. - № 10, - p.1237-1243.
348. Rosenberg R.A. Precision metal. - 1968. - v. 26. - № 2, - p. 55-56.
349. Stampfer J.E., Holley C.E., Sutte J.F. - J. Am. Chem. Soc. - 1968, - v.82, - p.3504-3508.
350. VerSnyder F.L., Shank M.E. // Review Paper. Materials Science and Eng. - 1970. - V. 6. - № 4. - P. 213-247.