



OMEGA
FOUNDRY MACHINERY LTD



**Ведущий Мировой Поставщик
Формовочного Оборудования
с Применением Химически
Твердеющих Смесей (ХТС)**

Оборудование работает в 42 странах мира

- Смесители
- Вибростолы
- Линии FAST LOOP
- Формовочные карусели
- Манипуляторы

- Системы регенерации
- Системы термической регенерации
- Системы пневмотранспорта
- Системы управления
- Стержневые машины (все процессы)



Официальный
представитель в России:



Клуб литейщиков • 101000 Москва, Россия • Б.Златоустинский пер. 3/5, стр. 1, офис 16
Тел.: (495) 937 1694, 623 5657 • Факс: (495) 623 4826 • www.foundryclub.ru • e-mail: mail@foundryclub.ru



РЭЛТЕК
ГРУППА КОМПАНИЙ

**Ведущий в России производитель
среднечастотных индукционных
печей и комплексов оборудования
для литейных производств**

620078, Екатеринбург, ул. Студенческая, 51
Тел.: (343) 379-43-50 Факс: (343) 374-34-63
reltec@reltec.biz <http://www.reltec.biz>

Интервью с директором Сасовского литейного завода Сергеем Николаевичем Фатиным и главным инженером Николаем Ивановичем Богатовым

Сергей Николаевич, расскажите о создании Вашего предприятия.

В конце 2001 г. группой инвесторов было принято решение о создании в Центральном регионе России нового компактного мобильного литейного производства, которое призвано удовлетворять потребности машиностроения в качественном литье

Для реализации этого решения был заключен договор с Российской ассоциацией литейщиков (РАЛ) на выполнение технико-проектного предложения (ТПП) и технического задания (ТЗ) на разработку рабочего проекта литейного цеха в заданном объеме.

В ТПП были подробно проанализированы и разработаны концептуальные технико-коммерческие предложения по строительству литейного цеха в 3-х вариантах:

1. На базе и с использованием самой современной технологии и современного первоклассного импортного оборудования;
2. На базе нового отечественного оборудования, а также оборудования, производимого в СНГ;
3. На базе предлагаемого б/у оборудования, полученного с подлежащих закрытию предприятий (заводов-центролитов) и др.

После подробного совместного с заказчиком анализа представленных решений был принят к разработке в виде ТПП и задания для выполнения рабочего проекта 1-й вариант – с применением новейшей импортной техники, но и с использованием отечественных материалов. В ТПП были разработаны все технологические процессы с обоснованием и выбором технологического оборудования и фирм-поставщиков, поставщиков материалов, расчетами обслуживающего персонала и всех видов затрат, окупаемости инвестиций, разработкой принципиальных планировочных решений со всеми технологическими и транспортными потоками. Рабочий проект литейного цеха на основании



Директор литейного завода С.Н. Фатин



Главный инженер Н.И. Богатов

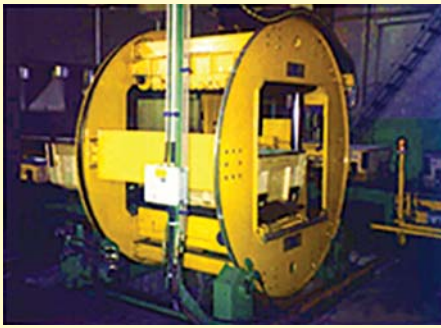
ТПП был разработан ООО «РПИ «Рязаньстройпроект» в 2002 г. При выполнении рабочего проекта наибольшей сложностью представляли части проекта по системам вентиляции, очистки с обеспечением соблюдения норм ПДК на рабочих местах и в промзоне.

Строительство и ввод в эксплуатацию завода было разделено на две очереди. Первая очередь была сдана в эксплуатацию 14 марта 2003 г. Она включала плавильно-заливочный участок с двумя печами (1,5 т и 2 т) фирмы «Индуктотерм»; формовочный участок для изготовления и сборки форм корпусных отливок с 2-х рукавным смесителем Т36/20S фирмы IMF; участок изготовления стержней со

смесителем ГЗ6/З фирмы IMF, вибростолом и замкнутым конвейером; участок выбивки отливок с пневмотранспортом и механической регенерацией отработанной смеси; частично участок очистки и обрубки литья; лабораторию испытаний свойств смеси и материалов и лабораторию экспресс-анализа получаемых сплавов. Это позволило начать производство отливок. Одновременно с выпуском литья продолжались работы по монтажу и запуску в производство технологического оборудования 2-й очереди завода, которая включала: полуавтоматическую линию безопочной формовки, заливочно-охладительные линии с системами вентиляции и оставшуюся часть отделения очистки и обрубки литья. Работы по завершению 2-й очереди и ввод в эксплуатацию были завершены к 24 марта 2004 г. Вся дальнейшая деятельность была направлена на освоение проектных мощностей. В 2005 г. завод изготовил 1755 т отливок; в 2006 г. – 2194 т, то есть была достигнута проектная мощность. За 10 месяцев 2007 г. выпущено 2375 т годного литья, что выше заложенного в проекте.

Таким образом, в настоящее время ООО «Сасовский литейный завод» – молодое, современное, активно развивающееся предприятие. Благодаря установленному высокотехнологичному оборудованию и использованию передовых методов организации производства завод способен производить литье мирового уровня качества. В условиях повышенной конкуренции ООО «Сасовский литейный завод» уделяет большое внимание вопросам повышения качества литья. В ближайшее время готовится его аттестация по международной системе менеджмента качества ИСО 9001.

Завод ежемесячно отгружает заказчику до 240 тонн продукции. Наложено постоянное сотрудничество с предприятиями машиностроительной, электротехнической, химической промышленности по всей территории России и Беларуси.



Кантователь

Николай Иванович, какова Ваша характеристика существующего производства с точки зрения ваших возможностей, отличающих ваше предприятие от аналогичных предприятий отрасли?

Основным преимуществом нашего производства является его технологическая гибкость и возможность изготовления любого вида литья (цветного, чугунного, стального) по единой технологии и в едином потоке, что позволяет нам выполнять разовые заказы в небольших объемах и малыми партиями с высоким качеством, наряду с производством серийного и единичного литья.

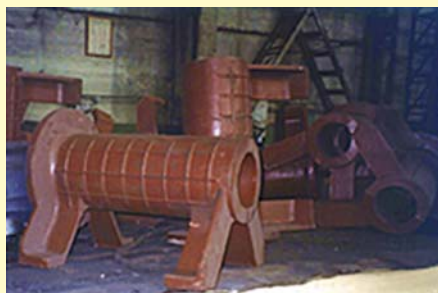
Николай Иванович, Ваша оценка оснащенности цехов, отделений и участков оборудованием, средствами автоматизации и механизации? Каковы перспективы технического перевооружения?

Наше предприятие оснащено современным формовочным оборудованием фирмы IMF, которое состоит из полуавтоматической линии безопочной формовки, заливочно-охлаждающего конвейера, выбивного устройства с предварительной регенерацией, пневмотранспорта, окончательной регенерации смеси и раздаче в расходные бункера. Весь процесс полуавтоматический и модернизация его на данный момент не требуется. Сегодня мы изыскали возможность расширения производственных площадей для необходимого наращивания объемов выпуска отливок в соответствии с увеличением заказов. Нами разрабо-

тан план техперевооружения производства на период 2007–2008 гг., включающий закупку нового оборудования и дальнейшее улучшение организации производства. Выполнение этого плана позволит нам увеличить объемы производства до 300 тонн литья в месяц. Эти работы выполняются исключительно на собственные средства от производственной деятельности.

Николай Иванович, как Вы оцениваете качество и надежность работы литейного оборудования фирмы IMF после эксплуатации его в течение 4-х лет?

В целом, весь комплекс оборудования фирмы для изготовления форм и стержней, регенерации отработанной смеси, система пневмотранспорта песка и другое вспомогательное оборудование работает надежно и претензий нет. Безусловно, в комплексе оборудования имеются ряд быстроизнашиваемых деталей, которые требуют повышенного внимания и своевременной замены. Однако создание большого запаса деталей на все случаи жизни очень накладно. А получение требуемых деталей после выхода их из строя из Италии связано с длительным периодом ожидания, состав-



Отливки, изготовленные на заводе

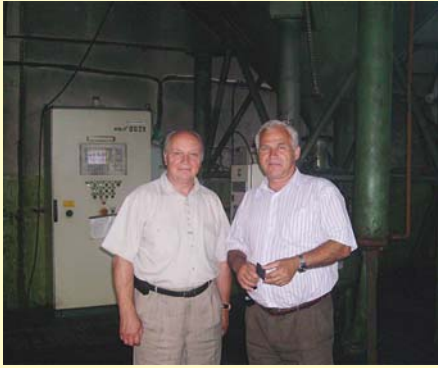
ляющим месяц и более. В связи с этим было бы целесообразно фирме IMF создать оперативный склад запасных частей в России, которые можно было бы быстро купить, тем более, что номенклатура запчастей по результатам 4-летней эксплуатации определилась и насчитывает около 20 наименований. Такие предложения мы озвучивали неоднократно, тем более, что растет количество потребителей аналогичного оборудования в России.

Николай Иванович, какие основные виды брака отливок и причины их образования? Насколько полно Вы обеспечены контрольно-измерительной аппаратурой?

На заводе организована центральная служба обеспечения контроля производства на всех технологических переделах по маршрутным картам, на которых указаны параметры проводимых проверок на соответствие ТУ и регламентам. Качество и получение заданных марок сплавов по химсоставу, микроструктуре и механическим характеристикам обеспечивается проведением всех видов испытаний в лаборатории, оснащенной отечественными современными приборами, в том числе для проведения экспресс-анализа на быстродействующем спектрометре. Качество исходных формовочных материалов, смол, связующих и всех видов используемых в производстве смесей контролируется в лаборатории испытания свойств формовочных смесей и материалов, оснащенной комплектно, в основном, приборами Усманьского завода «Литмаш-прибор».

Во многом хорошее качество отливок обеспечивается широким применением хорошо зарекомендовавшего себя метода обработки технологии производства на экспериментальном участке новых партий отливок. Этому же способствует сохраненная и отработанная в старом литейном цехе предприятия традиция тщательного выявления, системного учета всех видов брака отливок и методов его устранения.

Николай Иванович, какова Ваша оценка возможностей



И.А. Дибров и С.Н. Фатин на участке механической регенерации отработанной смеси



С.Н. Фатин и И.А. Дибров на участке сборки форм



Н.И. Богатов, И.А. Дибров, С.Н. Фатин на плавильно-заливочном участке

изготовления высокоточных отливок и влияние на рентабельность производства? Целесообразность применения механообработки отливок?

Установленное технологическое оборудование и внедренный No-Vake процесс позволяют нашему предприятию изготавливать отливки высокого качества как по геометрическим размерам, так и по химичес-

кому составу и заданной микроструктуре материала. Вопрос повышения класса точности, в основном, будет решаться повышением точности комплекта технологической и модельной оснастки. К сожалению, наша оснастка выполнена, в основном, из древесины, которая в процессе эксплуатации и хранения модельных комплектов теряет точность. Безусловно, следует использовать новейшие разработки по материалам (пластмассы) для широкого применения в производстве.

Механообработка отливок на литейном заводе не производится, а обработка отливок для нужд ОАО «Саста» осуществляется в его механических отделениях. Организация собственного отделения по механообработке в ближайшее время не планируется из-за отсутствия экономических возможностей, хотя целесообразность очевидна по опыту других заводов.

Сергей Николаевич, расскажите о параметрах энергопотребления на Вашем предприятии и существуют ли планы его значительного сокращения как на основном производстве, так и в инфраструктуре (тепло-, водоснабжение и др.)

Параметры энергопотребления пока будут увеличиваться в связи с наращиванием производственных мощностей и увеличением выпуска литья. Наше предприятие является высокомеханизованным и частично автоматизированным производством, использующим химически твердеющие смеси, при этом в процессе производства как по проекту, так и по факту соблюдаются требования санитарных норм ПДК вредных выделений на рабочих местах и в промзоне предприятия. Поэтому потребление электроэнергии непосредственно на производственные нужды, а также на обеспечение вентиляции, отопления, водоснабжения, канализации, безусловно, превышает закладываемые в традиционных литейных цехах мощности практически вдвое, в основном, именно за счет значительного потребления электроэнергии на инфраструктуру, составляющую около 40% всего по-



Двухрукавный смеситель T36/20S фирмы IMF

требления. Некоторое сокращение затрат на электроэнергию дают: использование на плавке среднечастотных электропечей, а также высокая производительность оборудования на основных технологических переделах производства и соблюдение режима экономии энергии.

На заводе разработаны реальные планы по снижению и экономии энергоресурсов и для реализации их создана специальная комиссия во главе с главным инженером.

Николай Иванович, как осуществляется соблюдение норм ПДК и какие средства применяют на Вашем предприятии для обеспечения этого?

Ежегодно на предприятии разрабатывается план санитарно-профилактических мероприятий, который охватывает полный контроль производственной санитарии, обеспечения безопасности и безвредности для персонала предприятия и окружающей промзоны. Для организации и проведения производственного контроля за соблюдением санитарных норм ПДК вредных веществ и выполнением намеченных планом мероприятий на заводе создана постоянно действующая комиссия во главе с главным инженером.

Сергей Николаевич, как решается вопрос комплектования предприятия специалистами ведущих инженерных профессий, владеющих современными методами проектирования технологических процессов, методами планирования загрузки производства и др?



Инженер-лаборант Г.Н. Графкина

Как и большинство предприятий, проблема дефицита кадров не обошла и нас. Нам не удалось за 4 года существования нашего завода привлечь в достаточном количестве сторонних специалистов, поэтому мы предлагаем нашим работникам проходить заочное обучение литейным профессиям в вузах и техникумах. Несколько наших специалистов уже заканчивают вузы без отрыва от производства. На предприятии создано и работает постоянно действующее подразделение из ИТР по обучению вновь принятых рабочих и повышению квалификации работающих. Помимо этого, некоторые категории рабочих, ИТР и специалистов проходят целевое обучение в учебно-курсовом комбинате «Рязаньагровод» и в управлении по технологическому и экологическому надзору Ростехнадзора по Рязанской области.

Сергей Николаевич, существуют ли у Вашего предприятия какие-нибудь особенные методы работы с клиентом?

Работа с заказчиком ведется единой специальной службой, которая



Мастер модельного участка И.В. Никулков



Старший инженер Т.Н. Карева

владеет всеми вопросам, связанными с обоснованием всех пунктов договора. Эта служба имеет все необходимые данные по выполнению заказа на отливки, данные сообщаются всеми участвующими в работе над поставками службами и подразделениями. Главное в этой работе – непрерывная связь с заказчиком, согласование всех возникающих вопросов и обеспечение выполнения заказа в сроки, установленные договором.

Сергей Николаевич, удовлетворяет ли Вас существующее положение дел по обеспечению предприятия исходными материалами по качеству и уровню цен? Расскажите о Ваших постоянных поставщиках-партнерах

У нас существует нормальное положение дел в обеспечении всеми необходимыми материалами при производстве отливок – это результат длительной работы не только служб, непосредственно занимающихся поставками (службы снабжения), но и участие практически всех технологи-



Модельщик В.А. Мулин

ческих и управленческих служб при изменении поставщиков некоторых материалов. Сейчас отработана постоянная клиентура поставщиков основных материалов, работой с которыми мы удовлетворены и с которыми мы имеем конфиденциальные соглашения по вопросам информации.

Сергей Николаевич, как решается вопрос участия предприятия в обеспечении социальных-бытовых условий работников, особенно молодых специалистов?

Решение поставленных вопросов построено на постоянном участии предприятия как в программах города, так и в привлечении различных специализированных комбинатов, строительных подразделений с долевым участием предприятия при строительстве жилья и т.п. Не стану скрывать, что это одна из труднейших проблем, решение которой требует постоянного внимания и приложения значительных усилий.

Николай Иванович, в заключение, публикации на какие темы в журнале «Литейщик России» вызывают у Вас наибольший интерес?

Мы являемся постоянными подписчиками журнала «Литейщик России». Особый интерес вызывают публикации по внедрению в производство новых материалов (противопожарные краски, модификаторы, смолы, катализаторы и т.д.). Кроме этого, нас интересуют вопросы качества получаемого литья по технологии ХТС, обеспечение качества выплавки сплавов заданных марок в индукционных печах средней частоты, внедрение в производство различного рода приспособлений и современной оснастки, статьи об опыте работы других предприятий как в России, так и за рубежом.

**Россия, 391430,
Рязанская обл., г. Сасово,
ул. Пушкина, д. 21
Тел.: (49133) 9-33-90
(49133) 9-39-93
Тел./факс: (49133) 9-39-70**

Кафедре «Материаловедение, литье и сварка» Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А.Соловьева –

50 лет



За 50-летний период деятельности на кафедре сохраняются традиции по совершенствованию учебного процесса на основе использования современных методических и научных разработок, что обеспечивает соответствующий уровень подготовки специалистов с учетом требований государственных образовательных стандартов. Поэтому, несмотря на социально-экономические трудности, есть уверенность в дальнейшем развитии кафедры.

На кафедре ведется обучение специалистов по всем формам многоуровневой подготовки:

- бакалавров по направлению «Материаловедение и технология новых материалов»;
- инженеров по трем специальностям: «Литейное производство черных и цветных металлов», «Металлургия сварочного производства», «Материаловедение и технология новых материалов»;
- магистров по двум программам: «Материаловедение и технология получения и обработки материалов со специальными свойствами», «Литье новых металлических материалов»;
- аспирантов по двум специальностям: «Литейное производство»; «Металловедение и термическая обработка сплавов».

Поздравляет!

Желаем доброго, интересного
и неповторимого Нового года!



URALCHIMPLAST
CAVENAGHI

Связующие системы для литья

Уралхимпласт-Кавенаги
Россия, 622012, Нижний Тагил
Северное шоссе 21
тел.: +7 (3435) 346-840, 346-495
e-mail: foundry@ucp.ru

Содержание

- 3 **Интервью с директором Сасовского литейного завода С. Н. Фатиним и главным инженером Н. И. Богатовым**
-
- К 50-летию кафедры «Материаловедение, литье и сварка» Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А.Соловьева*
- 10 **Жуков А. А.** Кафедре «Материаловедение, литье и сварка» Рыбинской государственной авиационной технологической академии – 50 лет
- 16 **Асмамау Тегегне Абебе, Изотов В.А., Шатульский А.А.** Моделирование процесса истечения расплава в дождевых литниковых системах
- 19 **Калюкин Ю.Н., Тимофеев А.В., Соколова С.М.** Направленная кристаллизация жаропрочных сплавов с мелкостолбчатой структурой на установках с жидкометаллическим охладителем типа УВНК 9П
- 21 **Серебряков С.П., Афанасьев А.Г.** Разработки в области центровых интенсивных видов обработки формовочных материалов на кафедре «материаловедения, литья и сварки»
- 25 **Жуков А.А., Постнова А. Д., Борисов В. А., Березин Д.Т., Рябов Ю.В., Немтырев О.В.** Повышение эффективности литья под давлением (ЛПД)
- 30 **Кононенко В.К.** Оценка горячеломкости сплавов по упругим характеристикам
- 34 **Барабанов Р. В., Изотов В. А.** Разработка методики расчета размеров литниково-питающих систем для отливки типа «Решетка» из алюминиевых сплавов
- 36 **Ларионов А.Я., Мусинов В.В.** Прогноз параметров гомогенной кристаллизации в силумине
-
- 39 **Нурадинов А.С., Таранов Е.Д., Эльдарханов А.С.** Влияние внешнего давления на параметры затвердевания слитка
- 42 **Деев В.Б.** Получение литейных алюминиевых сплавов в различных плавильных агрегатах
- Информация**
- 44 **Крохотин Владимир Леонидович** (к 75-летию со дня рождения)
- 45 **Колпаков Серафим Васильевич** (к 75-летию со дня рождения)

Адрес редакции:

123557 Россия, Москва, Пресненский вал, 14.
Тел./факс: (495) 253-5091 Тел./факс: (495) 253-7195
E-mail: foundryral@mtu-net.ru; foundryral@mail.ru, www.ruscastings.ru

Журнал включен в перечень журналов ВАК
Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций, рег. номер ПИ № 77-12196
Подписные индексы: **81628** – в каталоге Агентства «Роспечать»;
44156 – в объединенном каталоге «Пресса России».
Цена 350 руб. Формат 60x90/8. Тираж 1000 экз.

Редакционно-издательский совет журнала «ЛИТЕЙЩИК РОССИИ»

- Абрамов Владимир Иванович** – директор литейного производства ОАО «Камский литейный завод»
- Александров Николай Никитович** – Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, заведующий отделом ФНЦ РФ «ЦИНИИТМАШ», доктор технических наук, профессор
- Асанова Ангелина Николаевна** – директор ООО «Клублит»
- Байков Хакимжан Хамазанович** – главный металлург ФГУП «ПО Уралвагонзавод»
- Белов Владимир Дмитриевич** – заведующий кафедрой «Технологии литейных процессов» Московского государственного института стали и сплавов, доктор технических наук, профессор
- Волкомич Анатолий Александрович** – генеральный директор ЗАО «Литаформ», кандидат технических наук, профессор, член исполкома РАЛ, председатель комитета РАЛ, заслуженный металлург РФ
- Гаврилова Татьяна Петровна** – заместитель главного редактора журнала «Литейщик России»
- Грачев Владимир Александрович** – член-корреспондент Российской Академии наук, председатель Комитета по экологии Государственной Думы РФ, доктор технических наук, профессор
- Грищенко Юрий Александрович** – Заслуженный изобретатель РФ, Вице-президент Российской ассоциации литейщиков, кандидат технических наук
- Дибров Иван Андреевич** – Президент Российской ассоциации литейщиков, главный редактор журнала «Литейщик России», доктор технических наук, профессор, заслуженный металлург РФ, заместитель генерального директора ОАО «НИИЛИТМАШ»
- Дудниченко Владимир Борисович** – генеральный директор ОАО «НИИЛИТМАШ», кандидат технических наук
- Жуковский Сергей Семенович** – главный технолог СП «Уралхимпласт-Кавенаги», доктор технических наук, профессор, председатель комитета РАЛ
- Иванов Александр Александрович** – заведующий кафедрой «Литейное производство» Красноярской государственной академии цветных металлов и золота», кандидат технических наук, профессор
- Иоффе Михаил Александрович** – заведующий кафедрой «Металлургия и литейное производство» Северо-Западного государственного заочного технического университета, доктор технических наук, профессор
- Кечин Владимир Андреевич** – Заслуженный деятель науки и техники РФ, заведующий кафедрой Владимирского государственного университета, доктор технических наук, профессор, член исполкома РАЛ, председатель комитета РАЛ
- Косников Геннадий Александрович** – заведующий кафедрой Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель высшей школы РФ, член исполкома РАЛ
- Крохотин Владимир Леонидович** – генеральный директор ООО «Индуктор», член исполкома РАЛ
- Колпаков Алексей Александрович** – главный металлург ОАО «Горьковский автомобильный завод», кандидат технических наук
- Кукуй Давид Михайлович** – председатель Белорусской ассоциации литейщиков и металлургов, заведующий кафедрой Белорусской государственной политехнической академии, доктор технических наук, профессор
- Кулаков Борис Алексеевич** – заведующий кафедрой Челябинского государственного технического университета, доктор технических наук, профессор
- Кураков Юрий Григорьевич** – Заслуженный металлург РФ, заместитель главного инженера – начальник управления главного металлурга АМО «ЗИЛ»
- Леушин Игорь Олегович** – заведующий кафедрой «Литейно-металлургические процессы и сплавы» Нижегородского государственного технического университета, доктор технических наук, профессор
- Мамина Людмила Ивановна** – профессор Красноярской государственной академии цветных металлов и золота, доктор технических наук, член исполкома РАЛ
- Масалов Анатолий Карпович** – генеральный директор ОАО «Сиблитмаш», член исполкома РАЛ
- Мельников Алексей Петрович** – директор УП «Институт БЕЛНИИЛИТ», доктор наук, профессор
- Мысик Раиса Константиновна** – профессор Уральского политехнического института, доктор технических наук
- Найдек Владимир Леонтьевич** – академик Национальной Академии наук Украины, Заслуженный деятель науки и техники Украины, директор Физико-технологического института металлов и сплавов НАН Украины, доктор технических наук, профессор
- Никитин Владимир Иванович** – заведующий кафедрой Самарского государственного технического университета, доктор технических наук, профессор, член исполкома РАЛ, председатель комитета РАЛ
- Овчаренко Валерий Иванович** – директор металлургического производства ОАО «АвтоВАЗ»
- Петров Александр Юрьевич** – генеральный директор Российской электротехнологической компании «РЭЛТЕК»
- Ри Хосен** – заведующий кафедрой «Литейное производство и технология металлов» Хабаровского ГТУ, профессор, доктор технических наук, Заслуженный деятель науки и техники
- Семенов Виктор Владимирович** – заместитель директора Департамента министерства промышленности и энергетики РФ
- Ткаченко Станислав Степанович** – Заслуженный металлург РФ, генеральный директор ОАО «ПТИЛИТПРОМ», доктор технических наук
- Шинский Олег Иосифович** – президент Ассоциации литейщиков Украины, доктор технических наук, профессор
- Шуляк Валентин Саввович** – профессор Московского государственного индустриального университета, доктор технических наук, председатель комитета РАЛ
- Яковлев Анатолий Иванович** – Заслуженный строитель РФ, генеральный директор ОАО «Санто-холдинг», доктор экономических наук

А. А. Жуков (канд. техн. наук, профессор, ГОУ ВПО «Рыбинская государственная авиационная технологическая академия имени П. А. Соловьева»)

Кафедре «Материаловедение, литье и сварка» Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А.Соловьева – 50 лет

Интенсивное развитие в конце 1950–х гг. различных отраслей промышленности, в том числе авиадвигателестроения, автомобилестроения, дорожного машиностроения, приборостроения, станкостроения, судостроения и других, выявило острую необходимость в подготовке инженеров по различным технологическим специальностям и, прежде всего, по литейному производству. Поэтому, по просьбе руководителей многих промышленных предприятий Рыбинска и Ярославля, в сентябре 1957 г. в Рыбинском вечернем авиационном технологическом институте в соответствии с приказом Минвуза РСФСР № 704 была организована кафедра «Металловедение и технология металлов».

С 1957 по 1990 гг. кафедрой руководил доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, известный ученый в области материаловедения и литейного производства – Вилен Михайлович Воздвиженский. Имея большой жизненный опыт (он был участником Великой Отечественной войны), организаторские способности, талант ученого и преподавателя, а также большой авторитет среди коллектива кафедры и сотрудников института, он внес неоценимый вклад в создание и развитие кафедры. Под его руководством выполнены и защищены 12 кандидатских и 3 докторских диссертаций. Под руководством В. М. Воздвиженского кафедра стала одной из лидирующих среди литейных кафедр машиностроительных и политехнических вузов страны. С сентября 1990 г. заведующим кафедрой является кандидат технических наук, профессор Анатолий Алексеевич Жуков.

В начальный период становления кафедры, с 1957 по 1964 г., подготовка инженеров–литейщиков велась только по вечерней форме обучения, по специальности «Машины и технология литейного производства». В 1964 г. был проведен прием студентов на дневное отделение, и подготовка специалистов осуществляется по дневной и по вечерней формам обучения.

Первыми преподавателями кафедры были В.В. Кольга, П.А. Христов, Н.И. Либин, Г.И. Иванюк. Значительный вклад в разработку учебно–методических материалов и лабораторного практикума по изучению теории и технологии литейного производства внес кандидат технических наук, доцент Адольф Иванович Токарев, который поступил работать на кафедру в 1962 г. после окончания аспирантуры Московского института стали и сплавов.

В связи с существенным ростом количества студентов, обучающихся на кафедре, увеличился и преподавательский коллектив как за счет выпускников

кафедры (А.А. Жуков, Г.Н. Кондаков, А.Д. Постнова, В.В. Чистяков), так и за счет молодых специалистов, окончивших аспирантуру в других вузах: В.А. Гришин (Московский авиационный технологический институт), Б.М. Драпкин (Тульский политехнический институт), П.В. Лебедев (Сибирский металлургический институт).

Начало 1970–х гг. характеризовалось широким внедрением в производство специальных способов литья, использованием новых материалов и технологических процессов, что требовало сбалансированного участия в производстве инженеров–механиков и металлургов по специальности литейное производство. Поэтому с 1974 г. на кафедре ведется подготовка литейщиков–металлургов по специальности «Литейное производство черных и цветных металлов». Одновременно продолжалась подготовка литейщиков–механиков по специальности «Машины и технология литейного производства» по дневной и вечерней формам обучения. Таким образом, начиная с 1974 г., на кафедру ежегодно поступало более 100 студентов: 75 человек на специальность «Литейное производство черных и цветных металлов» и 50 человек на специальность «Машины и технология литейного производства». Это привело к существенному увеличению объема учебно–методической работы и к увеличению штата профессорско–преподавательского состава и учебно–вспомогательного персонала. В этот период на кафедру пришла «вторая волна» выпускников: Ю.Н.Иванов, В.В.Добродеев, Л.В.Графенкова, А.А.Шатульский, В.К.Кононенко, Б.В.Фокин, А.В.Лапшин, М.В.Воздвиженская. Из других вузов и с предприятий были приглашены преподаватели: С.П.Серебряков, В.А.Руденко, Г.М. Кимстач, С.И.Плис, В.А.Борисов, А.А.Поляков, Ю.П.Замятин.

Таким образом, к началу 1980–х гг. на кафедре был сформирован коллектив преподавателей из различных научно–педагогических школ. Это обеспечило в дальнейшем высококачественную и глубоко профессиональную подготовку специалистов по горячей обработке металлов и сплавов – литейщиков, материаловедов, сварщиков.

В связи с развитием радиоэлектронной техники и расширением производства на Рыбинском электрометаллическом заводе «Магма» и других предприятиях отрасли появилась необходимость в подготовке специалистов в области материаловедения и технологии радиоэлектронных материалов. Поэтому в конце 1970–х гг. на кафедре под руководством канд.техн. наук, профессора А.А.Полякова была проведена большая организационно–методическая работа по подготовке специалистов по индивидуальному плану специализации



Коллектив кафедры «Материаловедение, литье и сварка» Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А.Соловьева

«Технология и оборудование производства керамических радиоэлектронных материалов» (ТОПКРЭМ). Очень большую помощь в развитии этой специализации и оснащении лаборатории оказал генеральный директор КБ «Гюйс» Г.И.Гладков. Первый выпуск по данной специализации состоялся в 1976 г., всего по специализации ТОПКРЭМ было подготовлено более 80 специалистов для предприятий городов Рыбинска и Кузнецка (Пензенская обл.), Белая Церковь и др.

В 1975–1985 гг. коллектив кафедры провел большую работу по формированию основных направлений учебной, методической и научной деятельности. Молодые сотрудники кафедры Ю.Н.Иванов, А.А.Шатульский, В. В.Добродеев, Б.В.Фокин, В.А.Борисов, В.К.Кононенко активно работали над кандидатскими диссертациями и успешно защитили их.

На кафедре организуются учебные лаборатории «Теоретические основы литейного производства» (В.В.Чистяков, В.В.Добродеев), «Автоматизации литейных процессов» (С.П.Серебряков), «Оборудование литейных цехов» (А.А. Жуков, В.А. Борисов, С.И. Плис), «Печи и плавка» (Е.С. Борисов, Г.М. Кимстач), «Лаборатория радиокерамических материалов» (А.А. Поляков, А.А. Уртаев, Б.В. Фокин), «Лаборатория физических методов контроля» (А.А. Жуков, Б.М. Драпкин), «Лаборатория направленной кристаллизации» (П.В. Лебедев, А.А. Шатульский, В.К. Кононенко), «Лаборатория металловедения и термической обработки» (В.М. Воздвиженский, В.А. Гришин, А.Д. Постнова).

В этот же период под руководством канд.техн. наук, доцента Петра Вячеславовича Лебедева при участии инженеров В.К. Кононенко, А.В. Лапшина, Ю.Н. Калюкина, Э.С. Судакова, А.В. Баскакова создается лаборатория направленной кристаллизации металлов и сплавов, оснащенная уникальными вакуумными плавильно-заливочными установками. На базе этой лаборатории были выполнены исследования для кандидатс-

ких и докторских диссертаций П.В. Лебедева, А.В. Лапшина, Ю.Н. Калюкина.

Начало 1980-х гг. характеризуется широким использованием в литейном производстве средств автоматизации и роботизации. Поэтому в 1984 г. наряду с кафедрой «Металловедение и литейное производство» была сформирована кафедра «Машины и технология литейного производства» (МитЛП).

Заведующим кафедрой был назначен канд.техн.наук, доцент П.В. Лебедев. В состав кафедры вошли преподаватели А.И. Токарев, В.А. Борисов, А.Я. Ларионов, С.П. Серебряков, В.А. Руденко, Ю.П. Замятин и учебно-обслуживающий персонал:

Н.М. Ахмеджанов, А.С. Кудрявцев, А.Н. Баскаков, Э.С. Судаков, И.В. Кочешкова, К.С. Куликов, Ю.В. Губина, Ю.Н. Калюкин. Обязанности заведующего лабораторией исполнял А.В. Лапшин. Территориально кафедра МитЛП располагалась на первом этаже вновь построенного главного корпуса института и занимала 8 лабораторий общей площадью более 350 кв. м. Предполагалось, что кафедра будет готовить специалистов в области механизации и автоматизации литейных процессов как по дневной, так и по вечерней форме обучения. В 1986 г. кафедра МитЛП была переименована в кафедру «Автоматизация литейного производства» (АЛП). Однако к началу 1990-х гг. выявилось резкое сокращение потребности в инженерных кадрах. Поэтому набор студентов на специальность «Машины и технологии литейного производства» в РАТИ был прекращен, и в июне 1988 г. кафедра АЛП была закрыта, а ее преподаватели и сотрудники были переведены на кафедру «Металловедение и литейное производство». Таким образом, 1988–89 учебный год кафедра МитЛП начала в расширенном составе: 25 преподавателей (штатных и совместителей) и 37 человек учебно-вспомогательного персонала. В это время на кафедре стали формироваться группы преподавателей и сотрудников, объединенных общими научными и учебно-методическими интересами.

Наиболее сильная группа по разработке САПР технологии литья была организована по инициативе и под руководством канд. техн. наук, доцента В.В. Чистякова. В нее вошли: А.А.Шатульский, С. В.Лобанов, С. Н.Карулин, В.А.Изотов, В.А.Токарев, М.М.Королева, Л.Н.Мокеева, Н.А.Клементьева, Т.Н.Курочкина.

Аналогичные группы были созданы по специальным способам литья: С.П.Лебедев, Э.С.Судаков, Ю.Н.Калюкин, А.В.Лапшин, О.И.Ицкович, И.В.Петракова; по физико-механическим исследованиям сплавов: В.М.Воздвиженский, Б.М.Драпкин, В.К.Кононенко,



Лаборатория МИТО

А.А.Жуков, А.А.Уртаев, Н.А.Зайцев, Ю.В.Рябов, Ю.Н.Иванов, С.В.Малярчиков, Г.М.Кимстач, С.В.Жабрев.

В начале 1990-х гг. при полном отсутствии государственного финансирования поддержание и развитие материально-технической базы кафедры было возможно, главным образом, благодаря спонсорской помощи выпускников кафедры – руководящих работников промышленных предприятий, частных фирм и организаций. Среди них А. И. Бурко – генеральный директор ЗАО «КАБОР», С.А. Соседов – директор инженерно-технического центра ООО «ИНТЭЛС», А.В. Соболев – главный металлург АО «Волжский машиностроительный завод», А.Ю. Голованов – начальник цеха цветного литья ОАО «Рыбинские моторы» и др.

Сохранить кадровый потенциал профессорско-преподавательского состава и учебно-вспомогательный персонал удалось также благодаря организации и деятельности на кафедре малых предприятий: «Дендрит» – руководитель Ю. Н. Калюкин, «Эра» – руководитель А.А. Уртаев, «СЕЗАМУ» – руководитель Ю.П. Замятин, а также благодаря активной деятельности канд. техн. наук, доцента В.А. Изотова по заключению хозяйственных договоров на изготовление художественных отливок.

В 1997 г. по просьбе руководства ОАО «Рыбинские моторы», ОАО «Раскат» и Тутаевского моторного завода на кафедре (в соответствии с приказом Министерства общего и профессионального образования Российской Федерации № 669 от 09.04.97 г.) была открыта подготовка по новым специальностям: «Металлургия сварочного производства»; «Материаловедение и технология новых материалов». Обе эти специальности являются остродефицитными, так как в вузах ближних регионов подготовка инженеров по ним не осуществляется.

Таким образом, начиная с 1997–98 учебного года на кафедре МИЛП ведется обучение специалистов по всем формам многоуровневой подготовки:

- бакалавров по направлению «Материаловедение и технология новых материалов»;
- инженеров по трем специальностям: «Литейное производство черных и цветных металлов», «Металлургия сварочного производства», «Материаловедение и технология новых материалов»;

- магистров по двум программам: «Материаловедение и технология получения и обработки материалов со специальными свойствами», «Литье новых металлических материалов»;
- аспирантов по двум специальностям: «Литейное производство»; «Металловедение и термическая обработка сплавов».

В 1997 г. на кафедре состоялся первый выпуск бакалавров (46 чел.), а в 1999 г. первый выпуск магистров (8 чел.).

Для обеспечения требуемого качества подготовки инженеров в 1999 г. на ОАО «РМ» был организован филиал кафедры МИЛП по подготовке инженеров по сварочному производству. Заведующим филиалом кафедры назначен главный сварщик ОАО «РМ» – Г. И. Лымарев. Кроме того, к преподаванию специальных дисциплин были привлечены опытные специалисты по технологии сварки, пайки и конструкционных покрытий: инженеры Г.Я. Митрофанова, Н.А. Немтырева, В.Е. Якобсон, О.Г. Гусарин, Л.В. Антопова, В.Б. Суховеров и др. Сотрудниками филиала кафедры совместно со штатными преподавателями кафедры МИЛП выполнена большая работа по организации учебного процесса, материальному и методическому обеспечению лабораторно-практических занятий, производственной практики, курсовых и дипломных проектов.

С 2001 по 2006 гг. учебно-методическая и научная деятельность кафедры получила дальнейшее развитие. При этом основные направления деятельности кафедры были обусловлены следующими обстоятельствами. Во-первых, существенно активизировалось производство на большинстве промышленных предприятий Рыбинска, Ярославля, Тутаева, что привело к востребованности специалистов по заготовительному производству (литейщиков, сварщиков, материаловедов). Во-вторых, необходимостью внедрения и использования в учебном процессе компьютерных и информационных технологий.

Поэтому, наряду с подготовкой специалистов (бакалавров, инженеров, магистров) по дневной форме обучения, возобновилась подготовка инженеров по вечерней форме обучения. В настоящее время на кафедре по вечерней форме обучается более 100 студентов по 2-м специальностям: 150104 – «Литейное производство» и 150107 – «Металлургия сварочного производства».

По просьбе руководства Ярославского моторного завода ОАО «Автодизель» с 2001 по 2006 гг. на кафедре осуществлялась подготовка инженеров-литейщиков по заочной форме обучения. Было подготовлено более 40 специалистов, что позволило решить кадровый дефицит ИТР в литейных цехах ОАО «Автодизель».

С целью повышения эффективности использования в учебном процессе информационных технологий на кафедре в настоящее время создан банк стандартных прикладных программ STATISTICA, STATGRAPHIC, «КОМПАС», «ПОЛИГОН», а также оригинальных программ, разработанных на кафедре, – BALPRF, «ШИХТА», «ДИЛАТОГРАФ» и других, которые широко используются в учебном процессе при выполнении курсового и дипломного проектирования и при подготов-

ке кандидатских диссертаций. Многие из оригинальных программ зарегистрированы в отраслевом фонде алгоритмов и программ. Необходимо отметить, что внедрение и использование указанных программ в учебном процессе осуществляется благодаря активному участию молодых преподавателей и аспирантов: Д.Т.Березина, М.А.Красильниковой, А.С.Равочкина, И.Н.Редкина. Большую работу по техническому исполнению учебно-методических разработок выполняют сотрудники кафедры: Е.Р.Кудрякова, И.В.Гиршфельд, Е.Л.Угличенко, Е.Ю.Шевелева, М.Н.Наумова.

Начиная с 2002 г., на кафедре активизировалась научно-исследовательская работа. Общий объем финансирования НИР на кафедре составляет от 700 тыс. до 1,3 млн. рублей в год. По объему финансирования выполняемых НИР кафедра в 2003 г. заняла 2-е место по академии.

В настоящее время основными направлениями НИР, выполняемых на кафедре, являются:

1. Исследование влияния массовых сил на структуру и свойства формовочных и стержневых материалов и литейных сплавов – руководитель д-р техн. наук, проф. С.П.Серебряков.
2. Разработка технологии и практическое изготовление фасонных и художественных отливок – руководитель канд. техн. наук, доц. В.А. Изотов.
3. Развитие теории формирования структуры и свойств отливок из цветных сплавов в процессе кристаллизации – руководитель канд. техн. наук, доц. В.К.Кононенко.
4. Развитие теоретических основ и методов управления структурой и свойствами жаропрочных никелевых сплавов на основе исследования процессов упорядочения твердого раствора – руководитель д-р техн. наук, проф. А.А. Шатульский.
5. Исследование и повышение эксплуатационной стойкости изделий в условиях термоциклических воздействий – руководитель канд. техн. наук, проф. А.А. Жуков.

Наиболее значимые результаты НИР были внедрены в производство: сокращение длительности стабилизирующего отжига головки блока цилиндров; совершенствование технологии изготовления литейных форм для титановых отливок; установка для регенерации электрокорунда; установка для центробежно-планетарного приготовления формовочных смесей; экономно-легированная сталь для пресс-форм литья под давлением; установка для измерения упругих и релаксационных свойств; система автоматизированного проектирования и расчета ЛПС для отливок из цветных сплавов; прибор ЛИТИС для термографического анализа качества чугуна.

Преподавателями и сотрудниками кафедры ежегодно публикуется более 50 статей и тезисов докладов. На кафедре также подготовлено 11 научных монографий, основными из которых являются:

- Воздвиженский В. М. Прогноз двойных диаграмм состояния. – М.: Металлургия, 1975. – 224 с.
- Поляков А.А. Технология керамических радиоэлектронных материалов. – М.: Радио и связь, 1989. – 202 с.



Научные монографии, подготовленные специалистами кафедры.

- Чистяков В.В. Методы подобия и размерности в литейной гидравлике. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
- Галдин Н.М., Чистяков В.В., Шатульский А.А. Литниковые системы и прибыли для фасонных отливок. – М.: Машиностроение, 1992. – 226 с.
- Леонов Б.Н., Новиков А.С., Богомолов Е.Н., Антонов Е.А., Жуков А.А. Технологическое обеспечение проектирования и производства газотурбинных двигателей. – Рыбинск, 2000. – 407 с.
- Лапшин А.В. Опыт бронзового литья в русских традициях. – Рыбинск, 2001. – 80 с.
- Драпкин Б.М., Кононенко В.К., Безъязычный В.Ф. Свойства сплавов в экстремальном состоянии. – М.: Машиностроение, 2004. – 256 с.
- Безъязычный В.Ф., Крылов В.Н., Шатульский А.А. и др. Автоматизация технологии изготовления газотурбинных двигателей. Ч.1. – М.: Машиностроение, 2005. – 560 с.

На протяжении многих лет на кафедре работает студенческий кружок «Художественное литье». Его организаторами в начале 1970-х гг. были канд. техн. наук, доценты А.И.Токарев и П.В.Лебедев. Большую материальную и методическую помощь в становлении кружка оказал бывший заместитель главного металлурга ОАО «Рыбинские моторы» Л.М.Шумилов. Многие выпускники кафедры приобрели практические навыки по технологии изготовления художественных отливок. В последние годы наиболее активно в этом направлении работают канд. техн. наук, доцент В.А.Изотов и д-р техн. наук, проф. А.В.Лапшин. В результате их работы профессионально-практический уровень студентов-исполнителей художественных отливок существенно возрос. Это привело к значительному расширению номенклатуры изготавливаемых на кафедре от-

ливков по их назначению, сложности, художественной ценности. В результате этого за последние 5 лет на кафедре были изготовлены оригинальные художественные отливки. Так, под руководством канд. техн. наук, доцента В.А. Изотова при участии сотрудников кафедры А.С. Кудрявцева, Н.М. Ахмеджанова, Ю.В. Рябова, Л.Г. Миронова и студентов А.С. Соколова, А.А. Акутина, С.А. Гришихина, Р.В. Барабанова были изготовлены отливки: «Стелла» – по заказу Рыбинского городского отдела культуры в честь 50-летия Победы в Великой Отечественной войне; «Меч» – к празднованию 850-летия Москвы (размер 2,5 м, клинок из алюминиевого сплава, рукоятка – бронзовая) и др.

Значительные возможности по расширению номенклатуры художественных и фасонных отливок, изготавливаемых на кафедре, появились в связи с организацией в 2002 г. в структуре кафедры лаборатории художественного литья. Руководит лабораторией канд. техн. наук, доцент В.А. Изотов. Сочетание практического опыта и необходимых инженерных знаний позволяет сотрудникам лаборатории изготавливать ответственные отливки как промышленного, так и художественного назначения. В 2003 г. по оригинальной технологии отлит памятник (массой около 700 кг) поэту Л.И.Ошанину (скульптор М.М. Нурматов). В изготовлении памятника участвовали канд.техн. наук, ассистент А.А. Акутин, инженеры Р.В.Барабанов, К. П. Попков, учебные мастера М.А. Жуков, А.В. Семенов, М. Н. Романов. Руководитель работы – доцент В.А.Изотов

В 2004 г. деятельность лаборатории художественного литья была удостоена Диплома I степени на Российской выставке прикладного искусства в Перми.

Группа художественного литья под руководством д-ра техн.наук, профессора А.В. Лапшина главным образом занимается изготовлением колоколов. Колокольные наборы, отлитые А.В. Лапшиным и его помощниками, звучат во многих храмах Ярославской области. По заказу Рыбинского городского отдела культуры был отлит колокол массой 15 кг, посвященный памяти г. Мологи, затопленного водами Рыбинского водохранилища.

А.В.Лапшин являемся постоянным участником международного фестиваля хоровой и колокольной музыки «Преображение», который ежегодно проводится в Ярославле. В Ярославском музее-заповеднике (на территории Кремля) им организована постоянно действующая (в летнее время) авторская выставка «Тайны стародавнего литья».

В 2002 г. А.В. Лапшин подготовил и издал монографию «Опыт бронзового литья в русских традициях». За высокий художественный уровень отливок, изготавливаемых А. В. Лапшиным, он был принят в члены Союза художников России.

В течение длительного времени на кафедре работает студенческий научный кружок «Материаловедческая мозаика», руководитель канд. техн. наук, доцент А.Д. Постнова.

На кафедре ведется подготовка аспирантов по специальностям «Литейное производство» и «Материаловедение и термическая обработка металлов». Ежегодно на кафедре обучаются около 15 аспирантов по

очной и заочной формам обучения. С 1970 по 2006 гг. на кафедре подготовлено и защищено 8 докторских и 27 кандидатских диссертаций.

В настоящее время на кафедре работают 14 штатных преподавателей и 10 совместителей. Из них 5 докторов технических наук, профессоров и 12 кандидатов технических наук.

В структуру кафедры входят лаборатории теории и технологии литейного производства, лаборатории металлографического анализа и термической обработки, кабинет технологии сварочного производства, лаборатория художественного литья, лаборатория моделирования тепловых процессов, два дисплейных класса, а также специализированные лекционные аудитории, оснащенные аудио- и видеотехникой. Кафедра имеет филиал на ОАО НПО «САТУРН», который обеспечивает более глубокую и целенаправленную подготовку инженеров по специальностям:

- Литейное производство черных и цветных металлов – руководитель гл. металлург ОАО «НПО «САТУРН» А.И. Виноградов.
- Металлургия сварочного производства – руководитель гл. сварщик ОАО «НПО «САТУРН» Г. И. Лымарев.

На кафедре работает научно-исследовательская лаборатория «Металлофизика сплавов и покрытий». Лаборатория оснащена установками и приборами для механических и термомеханических испытаний, высокотемпературного металлографического анализа, а также приборами неразрушающего контроля структуры и свойств материалов.

В состав кафедры также входит зональная межвузовская лаборатория структурного анализа. В создание и развитие этой лаборатории (1978–1979 гг.) много энергии и сил вложил Вилен Михайлович Воздвиженский, поэтому лаборатория носит его имя. Лаборатория оснащена уникальным оборудованием: рентгеноструктурными анализаторами ДРОН-2 и ДРОН-2,5, позволяющими проводить исследования при комнатной и повышенной температурах; растровым электронным микроскопом TESLA-BS300, просвечивающим электронным микроскопом ЭМВ-100БР, а также дериватографом Q1500.

Наличие на кафедре лаборатории металлофизики сплавов и покрытий и лаборатории структурного анализа обеспечивает высокий научный уровень и эффективное выполнение госбюджетных и хозяйственных НИР, магистерских, кандидатских и докторских диссертаций, а также научно-исследовательской работы студентов.

На кафедре постоянно работает студенческое конструкторское бюро (СКБ). В различные годы в СКБ активно работали студенты: А.И.Беляков, В.А. Кононов, В.В. Добродеев, В.К. Кононенко, А.А. Шатульский, В.А. Изотов, А.В. Лапшин, А.С. Равочкин и др. В середине 1980-х гг на кафедре было организовано два СКБ:

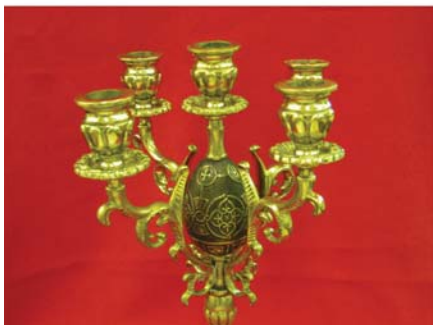
- Технология радиоэлектронных керамических материалов – руководитель канд.техн. наук, проф. А. А. Поляков;
- Технология литейного производства – руководитель канд. техн. наук, доцент В. В.Добродеев.



Бурлак



Жеребец



Подсвечник



Цветок



Памятник поэту Л.И.Ошанину

Деятельность СКБ направлена на разработку лабораторных исследовательских установок и приборов для контроля параметров технологических процессов и качества материалов и отливок, на исследование и совершенствование технологических процессов литья, термообработки и сварки. Студенческие работы регулярно представляются на различные конкурсы, выставки, олимпиады. Многие из представленных работ были отмечены медалями, дипломами, почетными грамотами. Так, в 2003 г. по результатам Всероссийского смотра-конкурса студенческих научно-исследовательских работ разработка студента группы ЛО-99 М.М. Латышева «Центробежно-планетарное литье кольцевых заготовок» (рук. С.П.Серебряков) награждена дипломом II степени.

В мае 2004 г. на базе Пермского государственного технического университета проводился Всероссийский конкурс на лучшее изделие художественного и ювелирного литья. Экспонаты, представленные на конкурс лабораторией художественного литья кафедры МилП (авт. А.А. Акутин, В.А. Изотов, Н.А. Зеленцова), заняли I, II места и награждены дипломами.

С целью сохранения профессиональной активности коллектива на кафедре проводится работа по привлечению молодых специалистов к учебному процессу. Начиная с 2001 г., в штат профессорско-преподавательского состава зачислены молодые преподаватели: канд. техн. наук, ассистенты А.А.Акутин, М.А.Красильникова, А.С. Равочкин, ассистенты К.Н. Попков, И.Н.Редькин, Р.В.Барабанов, а также инженеры Е. М.Бардинов, Р.В.Мельников, К. Г.Березин, С. А.Чистяков, В. Б.Суховеров. На должность учебных мастеров зачислены А.В.Семенов, М.Н.Романов, М.А.Жуков, Н.А.Зеленцова.

С учетом реальной деятельности кафедры по обеспечению учебного процесса и выпуску инженеров по трем специальностям (материаловедение, литейное производство и металлургия сварочного производства) по решению Ученого Совета академии в соответствии с приказом ректора № 73-01 от 9.07.2004 года кафедра «Материаловедение и литейное производство» (МилП) переименована в кафедру «Материаловедение, литье и сварка» (МЛС), что позволит более правильно ориентировать абитуриентов на выбор специальностей при поступлении в РГАТА.

В 2005 г. кафедра принимала активное участие в дополнительной целевой подготовке специалистов для ОАО «САТУРН».

По результатам ежегодного рейтинга, проводимого Министерством образования РФ, кафедра МЛС РГАТА занимает 3-6 места по соответствующим специальностям среди машиностроительных и политехнических вузов России.

В заключение необходимо отметить большую работу по организации и проведению лабораторно-практических занятий, которую в различное время выполняли учебные мастера А.Н.Волков, Р.П.Ливанова, Г.П.Григорьева, Л.А.Замятина, Ю.В.Рябов, Н.М.Ахмеджанов, В.В.Красильников, Т.Д.Молодцова, А.А.Уртаев, Л.И.Поповская, К.С.Куликов, Т.В.Богородская, О.В.Проскурякова, М.А.Жуков, М.В.Романов, А.Н.Семенов и др. Много сделали для создания и развития материально-технической базы кафедры на различных этапах ее становления заведующие лабораторией В.Д.Борисов, А.В.Лапшин, В.К.Кононенко, А.С.Кудрявцев.

Таким образом, за 50-летний период деятельности на кафедре сохраняются традиции по совершенствованию учебного процесса на основе использования современных методических и научных разработок, что обеспечивает соответствующий уровень подготовки специалистов с учетом требований государственных образовательных стандартов. Поэтому, несмотря на социально-экономические трудности, есть уверенность в дальнейшем развитии кафедры.

Асмамау Тегегне Абебе (аспирант), В.А.Изотов (канд. техн. наук, доцент),
А.А.Шатульский (д-р техн. наук, профессор, Рыбинская государственная
авиационная технологическая академия им. П.А.Соловьева)

Моделирование процесса истечения расплава в дождевых литниковых системах

В практике литейного производства дождевые литниковые системы широко применяют для изготовления различных типов отливок из чугуна. Их преимуществом является последовательное заполнение расплавом полости формы, надежное шлакоулавливание, создание оптимального температурного градиента по высоте формы, способствующего направленной затвердеванию [1]. Недостатком этих систем является образование таких дефектов, как «королек» и «газовая раковина». Поэтому при выборе конструкции литниковой системы, определении размеров и назначении параметров заливки необходимо учитывать [2] влияние различных физико-химических факторов на процесс заполнения полости формы расплавом.

Одним из факторов, обуславливающим образование в отливке газовых раковин, по мнению авторов работ [1, 3, 4, 7, 8], является возникновение гидродинамического удара расплава о стенку, дно полости формы и о поверхность ванны металла. Увеличение силы гидродинамического удара, по мнению авторов работы [4], способствует также захвату воздуха и приводит к увеличению вероятности образования газовых раковин. Кроме того, гидродинамический удар увеличивает механический пригар и образование пористости на поверхности отливки.

В связи с этим, интерес представляет определение критического значения силы гидродинамического удара, что позволит рассчитать основные параметры заливки и получить отливки с минимальным количеством газовых раковин, пористости и загрязнения в целом. Исследования проводили на специально сконструированной установке, позволяющей изменять величину напора от 50 до 200 мм, диаметр отверстий в чаше от 1 до 8 мм, высоту падения струи от 250 до

1000 мм. В качестве моделирующей жидкости по равенству чисел подобия Вебера, Фруда, Рейнольдса была выбрана вода. Процесс истечения моделирующей жидкости из отверстий фиксировали на цифровую камеру, что позволило провести необходимые замеры, наблюдать процесс распада струи, углубление зоны воздействия струи на ванну расплава, углубление струи, а также спутниковые капли жидкости, образующиеся вокруг струи. В ходе экспериментов определяли длину нераспавшейся части струи l , площадь возмущения S моделирующей жидкости, а также критерий состояния струи \bar{Z} , критерий возмущений \bar{X} (загрязненности) и силу удара струи $F_{от}$.

Анализ экспериментальных данных показывает, что при выходе моделирующей жидкости из отверстия чаши первоначально наблюдается струйное течение, а затем происходит распад струи на капли (рис 1, а). При малом диаметре выпускных отверстий (1–3 мм) количество воздуха, захватываемого струей, невелико, зона «возмущения» имеет малый объем (рис 1, б), пузырьки газа выходят на поверхность ванны очень быстро. Спутниковые капли образуются вокруг струи только при высотах падения $h=750-1000$ мм и напорах жидкости в чаше $H = 150-200$ мм.

При увеличении диаметра выходных отверстий и величины напора H , а также высоты падения длина нераспавшейся части струи L заметно возрастает (рис.2), значительно увеличивается объем зоны возмущения. При падении струи наблюдается захват в большом количестве газа, что приводит к образованию пузырей в ванне и на ее поверхности (рис. 1, в). При высотах падения струи $h = 750-1000$ мм и напорах $H= 150 - 200$ мм, а также больших диаметрах отверстий ($d = 6, 8$ мм) при падении струи не наблюдается всплытие газовых пузырьков. Именно эти процессы, вероятно, являются основной причиной появления дефектов в отливках.

Определение скорости падения струи проводили как экспериментально, так и теоретически по формуле, полученной в результате преобразования уравнения Бернулли (при низких скоростях истечения несжимаемой жидкости), которая имеет вид:

$$v_{cm} = \sqrt{2g(\varphi^2 H + h)}. \quad (1)$$

Анализ полученных результатов показывает, что скорость истечения струи возрастает с увеличением величины напора H и высоты падения (рис.3). Такой характер течения существенно влияет на качество отливок.

В результате обработки в числах подобия экспе-

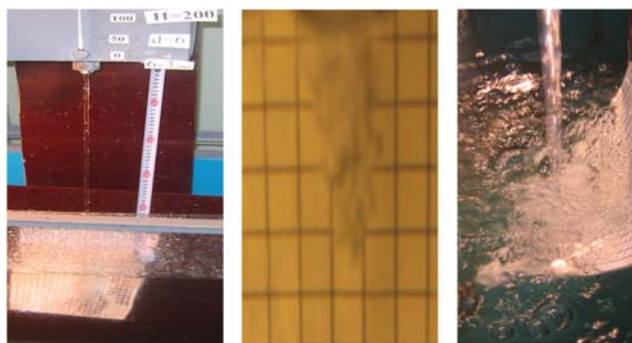


Рис. 1. Распад струи (а), образование зоны возмущения (б) и выделение газа (в) при экспериментальном изучении процесса на модельной жидкости

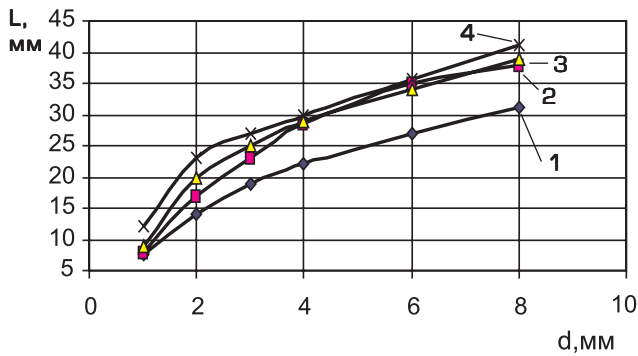


Рис. 2. Зависимость длины устойчивой части струи от диаметра выходных отверстий d , мм, при высотах падения $h = 50-250$ (1) и $50-500$ (2) мм; напорах жидкости в чаше $H = 50-750$ (3) и $50-1000$ (4) мм

риментальных данных истечения моделирующей жидкости и расплава чугуна из отверстий было получено уравнение, позволяющее рассчитать длину нераспавшейся части струи в зависимости от параметров заливки и свойств расплава.

$$L = 1,44 \cdot Fr^{0,04} \cdot We^{0,51}, \quad (2)$$

где Fr – Критерий Фруда ($Fr = v^2/gd$), We – критерий Вебера ($We = \rho v^2 d / \sigma$), d – характерный размер, диаметр отверстия, v – скорость падения расплава.

Зависимость длины нераспавшейся части струи от значений чисел подобия представлена на рис. 4, анализ которого показывает, что с увеличением чисел We , Fr , а следовательно, диаметра отверстий, напора, высоты падения струи значение L также возрастает.

Результаты экспериментов, проведенных на сером чугуне СЧ 20, представлены на рис. 5, 6 и в таблице. Они полностью подтверждают ранее сделанный вывод о том, что размеры отверстий в чаше являются главным определяющим фактором роста длины устойчивой части струи L и ухудшения качеств отливок при применении дождевой литниковой системы.

Анализ процесса истечения расплава из отверстий показывает, что на характер истечения расплава (струей или каплей, распад струи) влияют: поверхностное натяжение (σ), динамическая вязкость (η), гравитационная сила (g), плотность жидкости (ρ), длина нераспавшейся части струи (L), высота падения (h), диаметр отверстий (d), скорость течения жидкости (v) и

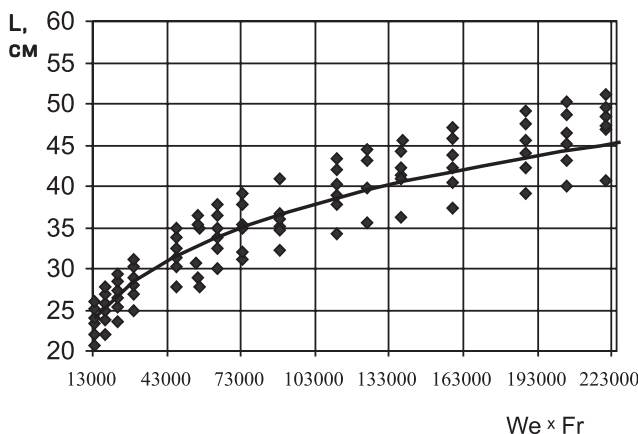


Рис. 4. Зависимость L от We и Fr , где $H = 50-200$ мм

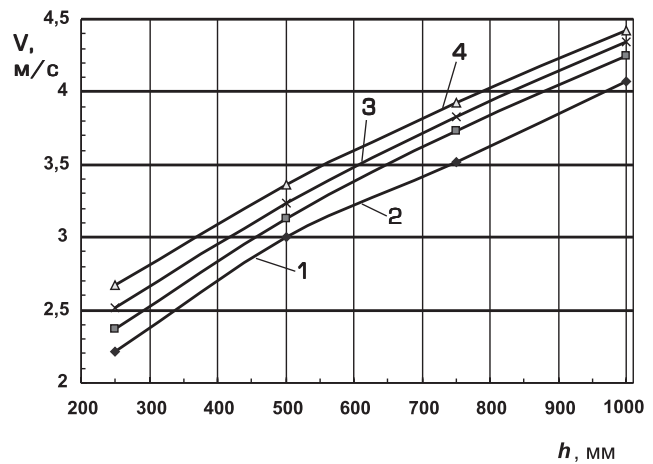


Рис. 3. Зависимость скорости падения струи от величины напора и высоты падения, где значение напора жидкости $H = 50$ (1); 100 (2); 150 (3); 200 (4) мм

напор жидкости в чаше (H). Для оценки характера истечения струи, используя метод размерности, получим уравнение подобия. Для этого включая все перечисленные факторы, преобразуем уравнение функциональной зависимости в следующем виде:

$$f(\sigma, \eta, \rho, g, L, h, d, V, H) = 0. \quad (3)$$

В качестве первичных величин выбираем $[M]$, $[L]$, $[T]$.

В качестве основных единиц выбираем ρ , v , g , так как соответствующий им определитель должен отличаться от нуля:

Зависимость длины устойчивой части струи L от диаметра отверстия и напора

Значение L, см			
d, мм \ H, мм	2	4	6
10	2	18	21
50	3	21	26
100	4	27	36

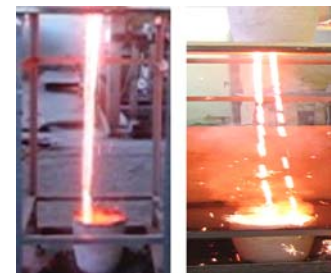


Рис. 5. Струйное течение и распад струи СЧ20 в зависимости от напора и диаметра отверстий

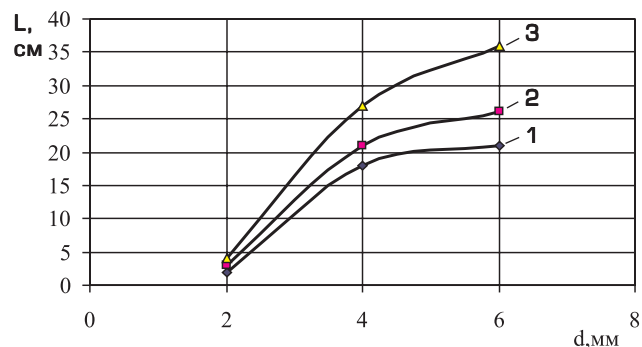


Рис. 6. Зависимости длины нераспавшейся части струи от диаметра отверстий для СЧ20, при напорах жидкости $H = 10$ (1); 50 (2); 100 (3) мм

$$\Delta = \begin{matrix} \rho \\ \mathbf{V} \\ \mathbf{g} \end{matrix} \begin{vmatrix} [\mathbf{M}] & [\mathbf{L}] & [\mathbf{T}] \\ 1 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 1 & -2 \end{vmatrix} = -10 \neq 0 \quad (4)$$

Таким образом, общее число n величин, существенных для процесса, равно 9, а ранг матрицы определителя $r=3$. Тогда согласно r теореме функциональная зависимости будет представлена в виде зависимости $n-r=6$ чисел подобия:

$$f(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6) = 0 \quad (5)$$

Выражая каждое π через базовые единицы, получили в следующую систему:

$$\left. \begin{aligned} \pi_1 &= \rho^x V^y g^z H \\ \pi_2 &= \rho^{x_2} V^{y_2} g^{z_2} h \\ \pi_3 &= \rho^{x_3} V^{y_3} g^{z_3} d \\ \pi_4 &= \rho^{x_4} V^{y_4} g^{z_4} \sigma \\ \pi_5 &= \rho^{x_5} V^{y_5} g^{z_5} \eta \\ \pi_6 &= \rho^{x_6} V^{y_6} g^{z_6} l \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где x, y, z – показатели степени.

Определяя виды комплексов для каждого π получаем:

$$\pi_1 = \frac{gH}{V^2}; \pi_2 = \frac{gh}{V^2}; \pi_3 = \frac{gd}{V^2};$$

$$\pi_4 = \frac{\sigma}{V^2 g \rho}; \pi_5 = \frac{\eta}{V g \rho}; \pi_6 = \frac{lg}{V^2};$$

Тогда числа подобия и их комбинации будут иметь вид:

$$\frac{1}{\pi_1} = \frac{V^2}{gH} - \text{комплекс, определяющий долю изменения скорости за счет силы тяжести};$$

$\frac{\pi_2}{\pi_6} = \frac{h}{L} = \bar{Z}$ – симплекс, характеризующей распад струи;

$$\frac{1}{\pi_3} = \frac{V^2}{gd} = Fr - \text{критерий Фруда, определяющий отношение сил инерции к силам тяжести (критерий гравитационно-гидравлического воздействия)};$$

$$\frac{\pi_4}{\pi_5} = \frac{\eta V}{\sigma} = Ch - \text{критерий структуры поверхностного}$$

слоя потока представляет собой меру отношения сил внутреннего трения к силам поверхностного натяжения.

Таким образом, зависимость (5) можно выразить через числа подобия:

$$f\left(\bar{Z}, \frac{V^2}{gH}, Fr, Ch\right) = 0 \quad (7)$$

После преобразования (7) получим уравнение подобия:

$$f\left(\bar{Z}, \frac{H}{d}, Ch\right) = 0 \quad (8)$$

где $\frac{H}{d} = \bar{Y}$ – симплекс, характеризующей силу удара струи (степень загрязненности); тогда величину \bar{Z}

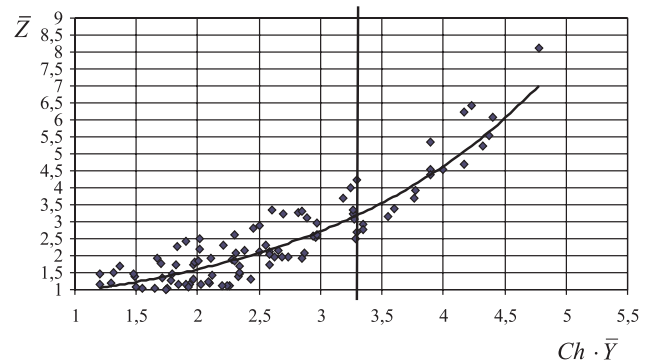


Рис. 7. Зависимость \bar{Z} от $\bar{Ch} \cdot \bar{Y}$

определяем:

$$\bar{Z} = K_0 Ch^a \bar{Y}^b, \quad (9)$$

где K_0 – коэффициент пропорциональности, a и b показатели степени, значения которых были определены в результате моделирования процесса на сером чугуне СЧ20 (во время экспериментов по справочникам принимали $\sigma = 1,1 \text{ н/с}^2, \eta = 9,2 \cdot 10^{-3} \text{ н/мс}$).

В результате уравнение принимает вид:

$$\bar{Z} = 10,87 \cdot Ch^{0,79} \cdot \bar{Y}^{0,34} \quad (R=0,9545) \quad (10)$$

Зависимость \bar{Z} от $[Ch \cdot \bar{Y}]$ представлена на рис. 7.

Анализ кривой показывает, что истечение расплава в дождевой литниковой системе зависит от геометрических соотношений литниковых систем и структуры потока жидкости. При значении $Ch \cdot Y < 3,3$ появление дефектов маловероятно. При $Ch \cdot Y > 3,3$ проявляется кумулятивный эффект, захват воздуха и образование газовых дефектов в отливке.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- Основными факторами, влияющими на снижение плотности и повышение уровня загрязненности отливок, являются: сила удара, зависящая от высоты падения расплава, диаметра отверстий в чаше и величины напора;
- Установлены критические значения симплекса, позволяющие рассчитать основные размеры дождевой литниковой системы, обеспечивающие получение отливок без характерных дефектов – загрязненности и пористости.

Список литературы.

1. Рабинович В.В. Введение в литейную гидравлику. – М.: Машиностроение, 1966. – 423 с.
2. Чистяков В.В. Методы подобия и размерности в литейной гидравлике. – М.: Машиностроение, 1990. – 436 с.
3. Власов Н.Н. и др. Справочник по разливке черных металлов. – М.: Металлургия, 1981. – 232 с.
4. Спасский А.Г. Основы литейного производства. – НТИ: М., 1950. – 318 с.
5. Мусияченко А.С. Предельно допустимые скорости течения расплава в форме // Литейное производство. – 1987. – № 2. – С. 16–17.
6. Ефимов В.А., Кравченко Л.Н. Метод создания компактной струи жидкости и стали. / Проблемы стальных слитков. – М.: Металлургия, 1974. – С. 141–150.
7. Гребенюк Ю.Б. Исследование некоторых вопросов разливки стали сверху на гидравлических моделях. Проблема стальных слитков. – М.: Металлургия, 1974. – С. 151–154.
8. Яковлев Ю.И. Гидродинамические процессы в струях при разливке стали. / Проблемы стальных слитков. – М.: Металлургия, 1974. – С. 154–160.

Ю.Н. Калюкин (д-р техн. наук, гл. металлург опытного завода), А.В. Тимофеев (ведущий инженер ОГМет опытного завода), С.М. Соколова (инженер-технолог ОГМет опытного завода ОАО «НПО «САТУРН», г. Рыбинск)

Направленная кристаллизация жаропрочных сплавов с мелкостолбчатой структурой на установках типа УВНК 9П с жидкометаллическим охладителем

Широко используемые в отечественной промышленности вакуумные плавильно-заливочные установки типа УВНК 9П с жидкометаллическим охладителем [1] позволяют обеспечить высокоградиентную направленную кристаллизацию лопаток авиационных двигателей и энергетических установок. При этом (рис. 1) в пере лопатки формируется направленная крупностолбчатая структура, состоящая, как правило, из 2–3-х зерен.

С учетом низкого уровня механических свойств крупностолбчатой структуры и в соответствии с требованиями международных стандартов к лопаткам, полученным методом направленной кристаллизации, предъявляются требования по количеству и форме ориентированных вдоль пера лопатки зерен. При этом в каждом зерне должна быть обеспечена кристаллографическая ориентация осей дендритов 1-го порядка $\{001\}$. Такая структура формируется в установках, которые обеспечивают технологию литья в формах с открытым дном на медный водоохлаждаемый кристаллизатор [2]. Недостатком технологии литья на медный кристаллизатор является сложность обеспечения высоких скоростей кристаллизации, больших температурных градиентов и макроплоского фронта кристаллизации. В начальный момент времени при контакте металла с кристаллизатором формируется мелкозернистая равноосная (близкая к аморфной) структура при высокой скорости кристаллизации за счет торцевого теплоотвода от медного кристаллизатора. Затем, в результате конкурентного отбора, на высоте порядка 5–10 мм формируется направленная структура с кристаллографической ориентацией каждого зерна близкой к $\{001\}$. По мере нарастания затвердевающего слоя скорость кристаллизации катастрофически падает и на высоте 20–40 мм прекращается действие кристаллизатора. Дальнейший теплоотвод осуществляется только от периферийной части литейного блока к поверхности медного водоохлаждаемого кольца, расположенного непосредственно под печью нагрева форм. Так как центральная часть блока лопаток не охлаждается, то в литейном блоке создается поперечный температурный градиент, который приводит к искривлению макроплоского фронта кристаллизации и браку макроструктуры по форме зерна.

На НПО «Сатурн» разработана и внедрена технология, которая включает преимущества методов литья с использованием жидкометаллического охладителя и



Рис. 1. Типичная макроструктура лопаток 2-й ст. ТНД SaM 146, полученная на установке УВНК9П с применением обычной технологии литья без затравок

медного кристаллизатора. Сущность технологии состоит в том, что для формирования мелкостолбчатой структуры в установках типа УВНК 9П в стартовую область формы устанавливают никель-вольфрамовые затравки с мелкостолбчатой структурой и величиной зерна в поперечном к направлению роста сечении не более

1–2 мм. Затравки получают методом литья в формах с открытым дном, установленных на медную пластину, в обычных установках для равноосного литья типа УППФЗМ. На рис. 2 представлена восковая модель литейной формы для получения затравок.

После заливки никель-вольфрамового сплава в пластинах-заготовках под затравки формируется регулярная мелкостолбчатая структура на высоту 3–5 мм с ориентацией $\{001\}$ и углом разориентировки зерен не более 2° . На рис. 3 представлена макроструктура затравки, в которой удален на 2 мм переходный слой с мелкозернистой структурой.

Полученную затравку устанавливают в литейный блок, обеспечивая при заливке контакт расплава с поверхностью затравки, которая была обращена к кристаллизатору в процессе ее затвердевания.



Рис. 2. Вид блока моделей для получения заготовок под затравки

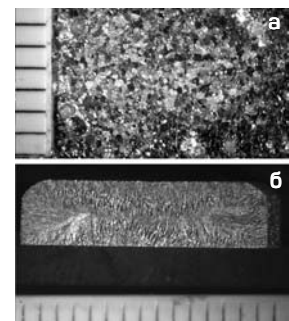


Рис. 3. Макроструктура стартовой плоскости (а) и в поперечном сечении (б) окончательно изготовленной плоской затравки



Рис. 4. Вид макроструктуры, изготавливаемых серийно лопаток 2-й ст. ТНД SaM 146 (сплав DS200) и 1 ст. ТВД двигателей наземной тематики (сплав ЧС88 ВИ (НК))



Механические свойства образцов из сплавов ЧС88-ВИ и ЧС88УВИ с направленной и равноосной структурой

Механические свойства		σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	Длительная прочность
Требуемый уровень свойств по паспорту сплава ЧС88-ВИ (НК) при 20°C		≥ 900	≥ 800	≥ 6	≥ 8	≥ 100 ч при 300 МПа, 900°C
Средние значения свойств образцов из ЧС88-ВИ (НК), полученных по технологии литья с затравками при температуре	20°C	1140	935	11,0	14,5	
	600°C	1005	917	10,0	15,5	-
	900°C	812	622	17,2	33,0	-
Фактическая длительная прочность $\sigma^{300 \text{ МПа}}$ при 900°C образцов из ЧС88-ВИ (НК), полученных по технологии литья с затравками						158 ч
Требуемый уровень свойств по ТУ1-809-1040-96 для сплава ЧС88У-ВИ с равноосной структурой	600°C	≥ 900	-	≥ 4	≥ 5	-
	900°C	≥ 650	-	≥ 8	≥ 10	$\sigma^{280 \text{ МПа}}$ при 900°C ≥ 100 ч
Среднее значение фактического уровня свойств при испытаниях образцов ЧС88У-ВИ с равноосной структурой	600°C	930	-	7,2	11	-
	900°C	710	-	17	28	105

Использование новой технологии позволило НПО «Сатурн» получить на высокоградиентных установках УВНК 9П регулярную мелко столбчатую структуру в неохлаждаемых лопатках 2-й ступени ТНД авиационного двигателя SaM-146 из сплава DS200 с количеством от 5 до 12 зерен и в охлаждаемых лопатках 1-й и 2-й ступеней ТВД энергетической турбины ГТД-4РМ из сплава ЧС88-ВИ с количеством от 15 до 20 зерен на высоте до 150 мм с выходом годного по макроструктуре порядка 95% и высоким уровнем эксплуатационных свойств. На рис. 4, 5 представлена типичная макроструктура лопаток, получаемых по новой технологии



Рис. 5. Макроструктура фрагмента поперечного сечения средней части пера лопатки 1-й ст. ТВД из сплава ЧС88-ВИ (НК). В структуре фрагмента - 17 зерен с КГО каждого зерна {001}

Анализ механических свойств, представленных в таблице, показывает, что направленная кристаллизация для сплава ЧС88-ВИ обеспечивает лучшие механические свойства по сравнению с равноосной

структурой сплава ЧС88У-ВИ.

Таким образом, разработанная на НПО «Сатурн» новая технология получения отливок с направленной мелкокристаллической структурой на высокоградиентных установках типа УВНК 9П обеспечивает высокий уровень механических свойств и выполнение требований международных стандартов литья лопаток газотурбинных двигателей из никелевых жаропрочных сплавов.

Список литературы

1. Каблов Е.Н., Кишкин С.Т. Перспективы применения литейных жаропрочных сплавов для производства турбинных лопаток ГТД // Газотурбинные технологии. - 2002. - №1. - С.34-37.
2. Симс Ч., Хагель В. Жаропрочные сплавы. - М.: Металлургия. - 1976. - 568 с.

С.П. Серебряков (д-р техн. наук, профессор), А.Г.Афанасьев (канд. техн. наук, доцент, ГОУ ВПО «Рыбинская государственная авиационная технологическая академия имени П. А. Соловьева», г. Рыбинск)

Разработки в области центробежных интенсивных видов обработки формовочных материалов на кафедре материаловедения, литья и сварки

Анализ принципов работы традиционного смесеприготовительного оборудования позволяет говорить о том, что совершенствование смесителей идет по двум направлениям: модернизация традиционных смесителей путем увеличения скорости движения рабочих органов и повышения уровня напряжений в смеси, например, в маятниковых смесителях, а также создание новых скоростных смесителей с высоким уровнем динамического воздействия на смесь. Эти тенденции развития обусловлены не только необходимостью повышения производительности смесителей, но, в первую очередь, связаны с требованиями повышения эффективности использования связующих и снижения их расхода. Следует отметить, что трудоемкость операций выбивки форм и стержней, очистки отливок определяются составом и свойствами формовочных и стержневых смесей и, как правило, снижается при сокращении расхода связующих. В большинстве случаев, главным критерием, определяющим выбор смесеприготовительного оборудования для оснащения литейного производства, работающего по технологии литья в песчаные формы, является повышение качества форм и стержней, выражающееся в снижении брака и повышении качества отливок.

Интенсификация процесса формирования структуры смеси, в частности, пленки связующего на поверхности зерна, существенно зависит от уровня нормальных напряжений и сдвиговых деформаций, возникающих при перемешивании смеси. Равномерное распределение связующего по поверхности зерен наполнителя возможно лишь при многократном повторении цикла «разрушение–восстановление» контактов между зернами и условия существования более прочных, чем когезионные, адгезионных связей между зерном и пленкой связующего.

На физические свойства поверхности зерен и ее способность к адгезии со связующим оказывают влияние химическая природа минерала, наличие загрязнений поверхности и микротрещин, шероховатость поверхности зерен, наличие механохимической, ультразвуковой, магнитной или электрической активации поверхности, а также химической обработки зерен. В общем случае процесс смесеприготовления может изменять в ту или иную сторону значение указанных факторов (кроме химических) при образовании адгезионного комплекса. Наличие на поверхности песка минеральных примесей или загрязнений органическими продуктами приводит к снижению прочности многих видов смесей, так как связующее взаимодействует не с поверхностью зерна, а с загрязненным слоем.

Современные высокоскоростные смесители обеспечивают выполнение условий эффективного формирования смеси:

- большое количество циклов «разрушение–восстановление» контактов между зернами (критерий кратности обработки более 100);
- высокий уровень сжимающих и сдвиговых деформаций при большом градиенте скоростей сдвига;
- механохимическая активация ингредиентов смеси в процессе обработки.

Создание в 1988 г. центробежно–планетарных (ЦП) способов обработки литейных материалов (соавторы: С.П.Серебряков, а также Г.С.Мирзоян и Н.И.Куршев «ЦНИИТМАШ») обусловило начало работ в этом направлении на кафедре МЛС.

Была создана инициативная группа в составе преподавателей С.П. Серебрякова, А.Г.Афанасьева, С.В.Лобанова, аспирантов С.А.Соседова, Ю.А. Колобкова.

Были спроектированы и изготовлены лабораторные и опытно–промышленные установки для центробежно–планетарного литья и смесеприготовления. Выполнен цикл теоретических и экспериментальных исследований машин и процессов центробежно–планетарного литья и смесеприготовления.

На основе теоретического анализа кинематики и динамики движения материальных частиц с использованием численных методов расчета получены решения [1] для состояния дозы смеси в планетарной камере и определены положение дозы, особенности перемещения ее элементов, скорости, ускорения элементов, кратность обработки объема дозы за 1 оборот камеры, мощность, потребляемая дозой.

Пример результатов расчетов по разработанной методике и экспериментов по оценке распределения сыпучей дозы зернистого материала в различных условиях планетарного вращения рабочей камеры приведен на рис. 1, на котором видно, что расчетная методика адекватно описывает процессы движения дозы

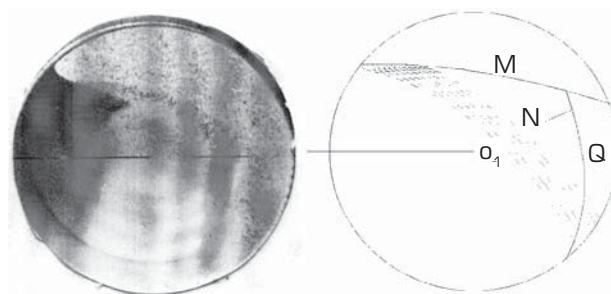


Рис. 1. Вид дозы сыпучего материала в планетарной камере

в планетарной камере. Одним из достижений в расчетах по этой методике является выявление областей работоспособности ЦП-машины как смесителя, мельницы или гранулятора в поле значений относительных скоростей вращения камеры $K_{\omega} = \omega_1/\omega_0$ и относительных радиусов $K_r = r_1/r_0$ с учетом угла φ – внутреннего трения сыпучего материала как угла обрушения $\theta = \varphi + \pi/4$.

Определены особенности процесса приготовления формовочных смесей с заданными свойствами, при которых необходимо создавать условия обрушения и сжатия материала.

Анализ расчетов процесса смешивания (при условии величины центробежной силы много большей силы тяжести) выявил граничные условия, обуславливающие состояния дозы материала в рабочей емкости, они представлены на рис. 2 в координатах K_{ω} , K_r , где K_{ω} – скорость вращения емкости относительно водила $K_{\omega} = \omega_1 / \omega_0$, K_r – относительный радиус емкости $K_r = r_1/r_0$. Кривые на рис. 2 являются границами между подвижными состояниями дозы в камере I и II и неподвижным III. Неподвижное состояние III формируется в результате полного прижатия центробежными силами сыпучего материала к стенкам камеры. При увеличении угла обрушения материала θ расчетная область состояния III расширяется, что видно из положения граничных кривых, найденных для $\theta = 45^\circ$ и $\theta = 90^\circ$. Видно, что для работы ЦП-смесителя состояние III недопустимо. Один из вариантов состояния III – при $K_{\omega} = 0$ (III, а, на рис. 2). Значение K_{ω} , близкое к 0 ($0,2 > K_{\omega} > -0,2$) принимать для ЦП технологических аппаратов нецелесообразно ввиду малой интенсивности перемещения материала в емкости и, следовательно, недостаточной производительности машины. Состояния дозы материала I и II отличаются преимущественным видом движения – со скольжением I и в полете II. В конечной фазе полета частицы встречаются с неподвижной частью дозы (состояние I) либо со стенкой емкости (состояние II). Однако и в состоянии II материал в основном падает на ранее упавшие на стенку частицы, поэтому принципиальное отличие состояния I от II – в наличии движения потока частиц с трением по поверхности M. В слу-

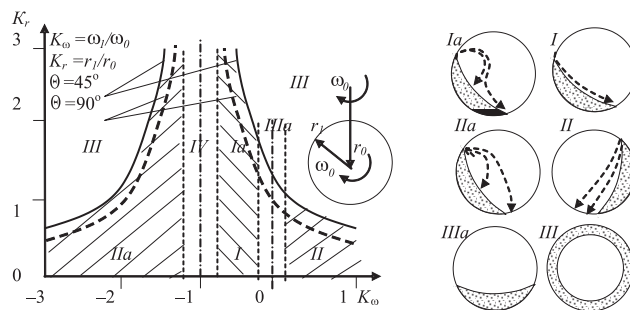


Рис. 2. Варианты состояний дозы сыпучего материала в планетарной камере в зависимости от величин K_{ω} и K_r

чая необходимости обеспечения в основном ударной обработки в ЦП-машине (очистка, помол) целесообразно выбирать параметры машины, создающие состояние дозы материала II при $K_{\omega} = -3... -1,2$ или $0,2-1,0$.

Определено расчетом, что при $K_{\omega} \sim -1$ ($-1,2... -0,8$) разница в скоростях движения частиц дозы в центре и у стенки невелика (до 30%). То есть здесь происходит в основном плоскопараллельное движение всей дозы материала в объеме камеры. Такой режим ЦП-машины малоэффективен как для смешивания, так и для помола, очистки.

Из изложенного следует, что для смешивающих ЦП-машин наиболее целесообразно выбирать область $K_{\omega} = -0,8... -0,2$, например, наиболее часто принимают $K_{\omega} = -0,5$.

Величина K_r у рекомендуемых смесителей обычно $0,2-0,8$, то есть $K_r < 1$. В таких смесителях установлено несколько равномерно размещенных вокруг центра рабочих камер. В них можно создать высокий уровень центробежных сил, однако они могут использоваться в основном как смесители периодического действия. Применение таких машин как агрегатов непрерывного устройства затруднено сложностью и ненадежностью устройства загрузки планетарно вращающихся камер. Указанного недостатка лишены разработанные автором смесители, имеющие область значений $K_r = 1,1-2$ [1, 2]. В таком смесителе непрерывная за-

Таблица 1. Варианты технологического применения ЦП-машин

Область значений K_{ω} и K_r		Технологические применения
Обозначение области	Величины K_{ω} и K_r	
I	$K_{\omega} [-0,8... -0,2]$ $K_r [0,2-1]$	Смешивание смесей с прочностью до 0,2 МПа, очистка, помол, гранулирование
I, а	$K_{\omega} [-0,8... -0,5]$ $K_r [1-2]$	Смешивание смесей с малой прочностью (до 0,02 МПа)
II	$K_{\omega} [0,2-1]$ $K_r [0,2-0,5]$	Смешивание сухих смесей, помол
II, а	$K_{\omega} [-1,2... -3]$ $K_r [0,2-0,5]$	Смешивание смесей с прочностью до 0,2 МПа, очистка, помол, гранулирование с повышенным вводом энергии в смесь
III	Область K_{ω} и K_r при K_r больше, чем для областей I и II	Для ЦП-обработки не применима
III, а	$K_{\omega} = 0$	Центробежная формовка

рузка сыпучего материала в ЦП-камеру производится через полую ось водила.

В табл. 1 приведены возможные технологические применения ЦП-машин в зависимости от условий вращения ЦП-камеры в поле значений K_{ω} и K_r .

В работах, выполненных С.А. Соседовым, определены условия рабочего процесса ЦП-машины при смешеприготовлении в непрерывном режиме. Здесь разработаны устройства непрерывной загрузки ЦП-рабочих камер за счет использования сил инерции. Экспериментально и расчетом определены режимы движения дозы материала вдоль камеры.

Разработаны, изготовлены, применяются в лаборатории кафедры МЛС и успешно опробованы в производстве ЦП-смесители (ЦПС) с массой дозы 2 и 40 кг.

В ходе анализа процессов центробежной обработки песков и смесей разработан новый принцип энергонапряженной обработки – центробежно-лопаточный [2], разработаны, изготовлены и успешно эксплуатируются несколько вариантов конструкций лабораторных и промышленных центробежно-лопаточных смесителей (ЦЛС).

В соответствии со способом, приготовление смеси производят во вращающейся цилиндрической рабочей емкости вращающимся ротором с лопатками. Рабочую емкость вращают со скоростью, создающей давление в смеси, равное 0,14–0,9 от максимальной прочности смеси на сжатие, а лопатки относительно чаши вращают со скоростью, равной –1,5–1,0 от скорости вращения рабочей емкости. При быстром вращении рабочей емкости возникают центробежные силы, создающие давление, достаточное для образования когезионных и адгезионных связей между зернами основы и связующим. Для песчано-глинистых формовочных смесей величина создаваемого в смеси давления должна превышать предел текучести глинистой пасты, при этом скорость вращения рабочей емкости обеспечивает на ее поверхности величину гравитационного коэффициента $K \geq 20$. От стенок рабочей емкости смесь отделяется лопатками, режущая кромка которых параллельна образующей поверхности рабочей емкости. Срезание смеси лопаткой обеспечивает равномерное распределение связующего по объему замеса и создание одинаковой толщины пленки на каждом зерне. Высокая скорость движения смеси, наличие сдвиговых деформаций в условиях напряженного состояния в зоне резания и при движении смеси по лопатке позволяют реализовывать большое количество циклов интенсивного «разрушения-восстановления» когезионных контактов.

Рабочий процесс обработки смесей в центробежно-лопаточных смесителях можно продемонстрировать на примере обработки в нем сухого песка (рис. 3).

Конструктивно центробежно-лопаточные смесители могут быть выполнены в двух основных вариантах: с горизонтальной и вертикальной осями вращения. Расположение осей вращения не влияет на последовательность и количество основных этапов движения частиц смеси в рабочей емкости. В обоих случаях смесь последовательно проходит через пять состояний, отмеченных на схеме, приведенной на рис. 4.



Рис. 3. Движение песка в рабочей емкости ЦЛС с горизонтальной осью вращения при $n = 600$ об./мин и $K_s = 0,4$

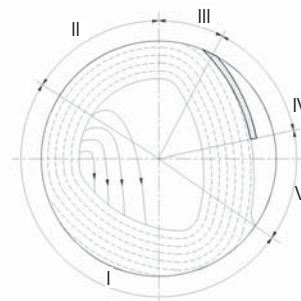


Рис. 4. Схема движения потока смеси в рабочей емкости ЦЛС: I – зона разгона; II – зона совместного движения с рабочей емкостью; III – зона резания; IV – зона движения по лопатке; V – зона свободного полета

На 1-м этапе движения частицы материала, попадая на цилиндрическую поверхность рабочей емкости или на свободную поверхность потока за счет действующих сил (центробежной силы, силы веса, силы трения) разгоняются до скорости движения рабочей емкости на соответствующем радиусе. Зона разгона I ограничена (рис. 4) сектором, расположенным между крайней точкой падения частиц материала и точкой, в которой отрыв частиц материала от потока прекращается.

Размеры этой зоны зависят от угловой скорости рабочей емкости, коэффициента загрузки и коэффициента трения материала. В начальной стадии этапа разгона возможны две ситуации: во-первых, когда скорость частицы при соприкосновении с поверхностью $V = 0$ и, во-вторых, когда $V > 0$. Первое условие реализуется в том случае, когда рабочая емкость приводится во вращение после загрузки ингредиентов смеси (периодический режим работы ЦЛС), второе – при непрерывном режиме работы ЦЛС.

На 2-м этапе сечение потока материала имеет угловую скорость, равную угловой скорости рабочей емкости ЦЛС, то есть наблюдается совместное движение материала с рабочей емкостью. Зона II (рис. 4) начинается от зоны разгона I и заканчивается в области, прилегающей к режущей кромке лопатки. В зоне II совместного движения с рабочей емкостью материал прижат к ее цилиндрической поверхности и на частицы смеси действуют максимальные по величине центробежные силы. Они приводят к появлению нормальных напряжений в потоке смеси и ее уплотнению. Уплотнение материала потока способствует лучшему взаимодействию между частицами, а для смесей – лучшему взаимодействию частиц смеси со связующим.

На следующем, 3-м этапе, поток материала отделяется неподвижной лопаткой от стенок рабочей емкости и изменяет направление движения. Для связанных материалов отделение потока имеет характер резания, элементы которого можно наблюдать и на сыпучих материалах. Прежде всего, это наличие деформации сдвига в зоне резания, при которых частицы изменяют направление движения. Зона резания III ограничена со стороны потока областью распространения продольных нормальных напряжений, а со стороны лопатки – внутренним радиусом, пересекающим

Таблица. 2. Сравнительная характеристика приготовления ПГС в различных типах литейных смесителей

Параметр приготовления			Барабанный	Вихревой	Бегуны	ЦПС	ЦЛС
Удельная мощность	$N_{уд}$	Вт/кг	8	40	20	400	400
Цикл приготовления	$T_{ц}$	с	60	200	500	50	50
Удельное энергопотребление	$A_{уд}$	кДж/кг	0,5	4	10	20	20
Напряжения сжатия в смеси	σ_1	кПа	10	50	200	70	250
Скорость смеси	v	м/с	2	10	2	10	8
Кратность обработки зерен	$S_{ц}^*$		10	100	5	250	50
Содержание глины		%	15	15	15	10	10
Прочность по-сырому	$\sigma_{сж}$	кПа	50	200	200	200	200
Газопроницаемость	K		100	200	100	200	150
Относительная загрузка	m		0,4	0,8	0,3	0,4	0,6

Примечание 1. Величины $N_{уд}$, $T_{ц}$, $A_{уд}$, σ_1 , v , $\sigma_{сж}$, K, m получены экспериментально, а также по данным литературы.

Примечание 2. Величина $S_{ц}^*$ является отношением суммарных пятен контакта среднего идеального зерна смеси за время смешивания к площади поверхности зерна.

лопатку. Интенсивные деформации сдвига в зоне резания, происходящие в условиях напряженного состояния, приводят к разрушению когезионных контактов между гранулами смеси и способствуют образованию и равномерному распределению пленки связующего на поверхности зерен приготавливаемых смесей.

Этап 4 движения материала вдоль лопатки в основном определяется ее профилем. Существенную роль играют также скорость вращения рабочей емкости, угол наклона лопатки и расположение оси вращения. На криволинейной лопатке поток смеси изгибается и повторяет ее профиль. Деформации профиля потока материала на криволинейной лопатке, трение о ее поверхность существенно улучшают перетирание смеси.

На этапе свободного полета 5 материал потока, сойдя с лопатки, свободно движется внутри рабочей емкости до столкновения с ее поверхностью. Траектории кривых полета представляют собой параболы. При больших скоростях вращения рабочей емкости эти параболы очень близки к прямым. В свободном полете смесь движется в основном компактным потоком, но при этом он частично разрыхляется, а смесь аэрируется. Основное относительное перемещение частиц смеси в процессе перемешивания происходит при падении частиц в зоне захвата, что позволяет формировать смеси, однородные по всему объему.

Экспериментальные исследования центробежно-лопаточного способа смесеприготовления проводились на формовочных и стержневых смесях промышленных рецептур в лабораторных и производственных условиях ОАО НПО «Сатурн», ОАО «Ярославский моторный завод» и других предприятий. Эффективность использования ЦПС для их приготовления оценивалась в сравнении с параметрами серийных смесей, получаемых на оборудовании предприятий. Например, результаты исследования эффективности ЦПС для приготовления формовочных и стержневых смесей оценивались на ряде составов предназначенных для получения отливок из чугуна и магния в литейных цехах ОАО НПО «Сатурн».

Электронно-микроскопическими исследованиями образцов формовочных и стержневых смесей различных рецептур, приготовленных в ЦПС, установлено, что полученные смеси имеют четко выраженную гранульную структуру. Связующее равномерно распределено по поверхности зерен песка, а в порах отсутствуют комки связующего и пыль. Однородность смесей, приготовленных в ЦПС, и равномерное распределение связующего по поверхности зерен позволило улучшить основные физико-механические и технологические свойства серийных смесей. У серийных промышленных формовочных и стержневых смесей, приготовленных в ЦПС, механическая прочность на сжатие по-сырому увеличилась в 1,3 – 5,6 раза, прочность на разрыв для стержневых смесей – до 180%, газопроницаемости в 2,1 – 4,4 раза. Экспериментально определена возможность снижения, по крайней мере, на 20% содержания связующих в рецептурах серийных смесей при сохранении соответствия их свойств нормативным требованиям за счет интенсивности и качества перемешивания в ЦПС.

Эффективность ЦПС и ЦЛ в сравнении с другими типами смесителей при приготовлении песчано-глинистых смесей [3] показана в табл. 2.

По тематике ЦП-смесеприготовления и литья подготовлены и защищены докторские (С.П.Серебряков) и кандидатские (С.А. Соседов, А.А.Андреев) диссертации, опубликовано 20 статей, получено 12 авторских свидетельств СССР и патентов РФ.

Список литературы

1. **Серебряков С.П.** Рабочий процесс центробежно-планетарного смесителя // Литейное производство. – 1995. – №1. – С. 19–21.
2. **Серебряков С.П., Афанасьев А.Г., Березина Л.В.** Центробежно-лопаточный смеситель // Литейное производство. – 1997. – №1. – С. 22.
3. **Серебряков С.П.** Сравнительный анализ машин для приготовления формовочных смесей // Инженерный справочник. – 1999. – №7. – С. 9–16.

А. А. Жуков (канд. техн. наук, профессор), А. Д. Постнова (канд. техн. наук, доцент),
В. А. Борисов (канд. техн. наук, доцент), Д. Т. Березин (канд. техн. наук, ст. преподаватель),
Ю. В. Рябов (инженер ГОУ ВПО «Рыбинская государственная авиационная
технологическая академия имени П. А. Соловьева», г. Рыбинск),
О. В. Немтырев (канд. техн. наук, инженер ОАО «НПО «САТУРН», г. Рыбинск)

Повышение эффективности литья под давлением (ЛПД)

В настоящее время литье под давлением является одним из наиболее распространенных специальных способов изготовления высокоточных отливок из цветных сплавов на основе алюминия, меди, цинка, магния. Основным недостатком ЛПД является высокая себестоимость отливок, которая в значительной степени (до 75%) определяется затратами на проектирование и изготовление пресс-форм, а также эксплуатационной стойкостью пресс-форм и прессовых поршней камеры прессования. Актуальность данной проблемы существенно возросла в последние 10–15 лет в связи с резким ростом цен на материалы и энергоносители. Таким образом, повышение эффективности литья под давлением является комплексной проблемой и может быть обеспечена за счет снижения материальных, энергетических и трудовых затрат на изготовление пресс-форм и повышения эксплуатационной стойкости технологической оснастки.

Разработка наиболее эффективных мероприятий по повышению эксплуатационной стойкости и работос-

пособности пресс-форм возможна только на основе анализа характера повреждаемости различных элементов пресс-форм и причин выхода их из эксплуатации. С этой целью в условиях цеха цветного литья ОАО «НПО «САТУРН» проведен анализ 137 случаев снятия пресс-форм с эксплуатации по различным причинам. Статистическая обработка данных и анализ материальных затрат на устранение различных видов повреждений позволили рассчитать вероятность отказов, то есть выхода пресс-форм из эксплуатации по различным причинам P_i , а также определить относительную стоимость C ремонтных работ по устранению соответствующих повреждений для обеспечения дальнейшей эксплуатации пресс-форм.

В результате проведенного анализа (см. таблицу) установлено, что около 35% отказов составляют разгар (трещины термической усталости) и химический (коррозионный) износ формообразующих элементов; примерно 40% отказов составляют механический износ и необратимое формоизменение подвижных эле-

Причины выхода пресс-форм из эксплуатации и стоимость работ

Вид повреждения (причины отказа)	Количество запрессовок до появления повреждения	Вероятность отказа, $P_i = \frac{\sum N_i}{N_{\text{общ}}}$	Относительная стоимость ремонтных работ C , %
Разгар формообразующих вкладышей	300–3000	0,19	66,3
Износ вкладышей	1500–5000	0,13	9,4
Износ толкателей	500–2000	0,21	12,0
Износ разрядок	500–2500	0,17	7,2
Износ элементов литниковой системы	150–500	0,07	1,6
Износ плоскости разъема	1000–2200	0,05	0,8
Износ центрирующих элементов	5000–10000	0,04	0,5
Нарушение работоспособности системы водоохлаждения	5000–12000	0,06	1,0
Прочие причины	–	0,05	1,2
Итого	–	$\sum P = 1,00$	$\sum C = 100\%$

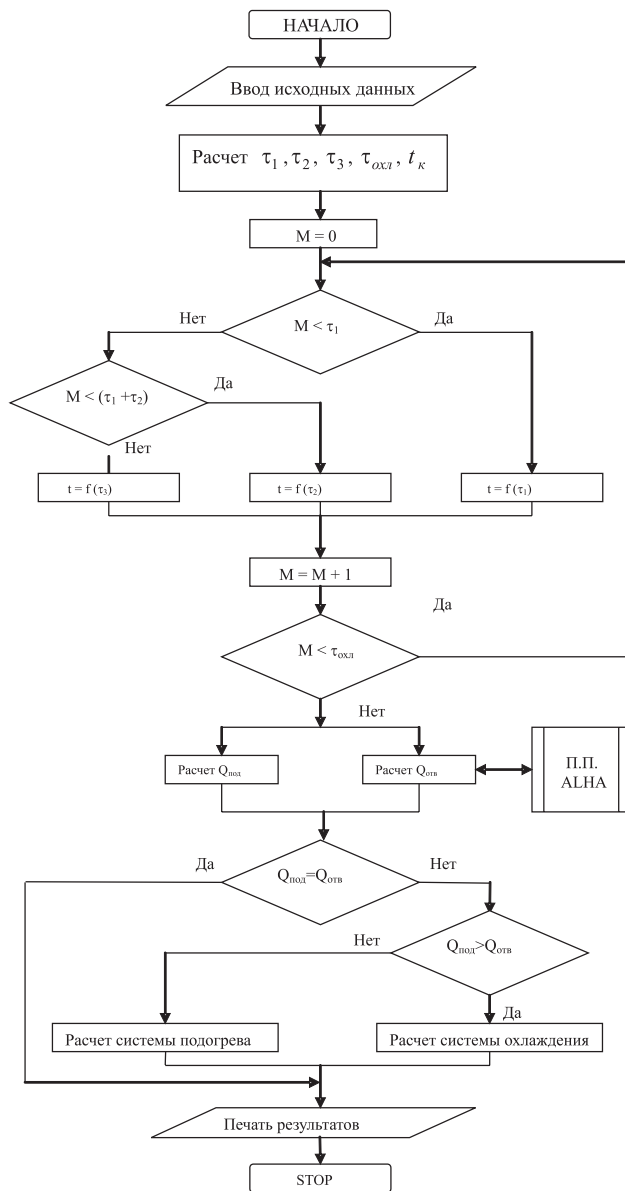


Рис. 1. Схема алгоритма расчета

ментов пресс-форм. Основные затраты по восстановлению пресс-форм связаны с ремонтом формообразующих вкладышей около 75%, а также подвижных элементов (толкатели, разрядки, центрирующие элементы, отъемные части) – примерно 20%. Следовательно, повышение эффективности литья под давлением в результате увеличения длительности эксплуатации пресс-форм возможно за счет обеспечения термостойкости, разгаростойкости, износостойкости и коррозионной стойкости материалов и элементов пресс-форм.

Эксплуатационная стойкость пресс-форм литья под давлением определяется теплонапряженным состоянием, конструкцией и физико-механическими свойствами материала формообразующих вкладышей. Расчет и анализ теплонапряженного состояния является необходимым исходным условием для разработки рациональной конструкции пресс-формы (матрицы) и определения требуемого уровня физико-меха-

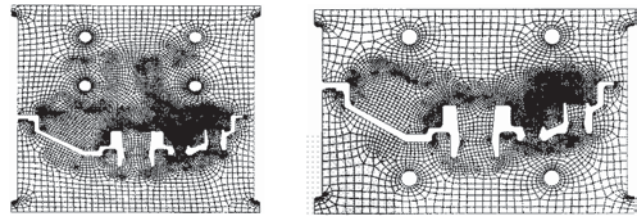


Рис. 2. Конечно-элементные модели матриц пресс-формы: а – исходной формы; б – оптимизированной формы

нических свойств материала, его марки и режимов термообработки формообразующих матриц пресс-форм. В настоящее время отсутствуют научно-обоснованные рекомендации по разработке оптимальной конструкции пресс-форм и выбору материала для формообразующих элементов. С целью унификации пресс-форм и согласования их конструкции с соответствующими характеристиками машин литья под давлением геометрия и типоразмеры блоков и основных комплектующих деталей пресс-форм (матрицы, обоймы, литниковые втулки, колонки возврата, выталкиватели, клинья) регламентируются по ГОСТ (19933–19945) – 74, согласно которому изготовитель должен обеспечить гарантированную эксплуатационную стойкость пресс-форм при литье алюминиевых сплавов не менее 25000 (отливок) запрессовок. Для обеспечения указанного требования необходима разработка оптимальной (рациональной) конструкции матрицы пресс-форм и повышения комплекса эксплуатационных свойств материала для формообразующих элементов.

Разработка оптимальной конструкции формообразующей матрицы требует решения следующих задач: расчет теплового баланса пресс-формы; расчет и анализ теплонапряженного состояния матрицы; выбор и расчет конструктивных параметров пресс-формы, которые определяют ее работоспособность и эксплуатационную стойкость.

Для расчета теплового баланса на ПК разработан алгоритм и программа BALPRF на языке Qbasic [1]. Программа зарегистрирована в Отраслевом фонде алгоритмов и программ Министерства образования РФ, № Госрегистрации 50200200321. Блок-схема расчетов представлена на рис. 1. В результате расчетов определяется время выдержки отливки в пресс-форме, температура рабочей поверхности пресс-формы, наличие или отсутствие системы водоохлаждения или электроподогрева пресс-формы для обеспечения требуемого теплового баланса, определяются также параметры системы охлаждения или подогрева. Выполнение условий теплового баланса обеспечивает стабилизацию температурного режима пресс-формы, что обуславливает стабильное качество отливок и повышение срока эксплуатации пресс-форм.

Расчет и анализ теплонапряженного состояния водоохлаждаемой формообразующей исходной матрицы из стали 4Х5МФС для отливки «Крышка» из сплава АК9ч (АЛ4) выполнен методом конечных элементов (МКЭ), реализованном в пакете прикладных программ ANSYS [2]. Для построения конечно-элементной модели матриц использовали элементы

PLANE 55, затем накладывали граничные условия 2-го и 3-го рода и выполнялся теплонапряженный анализ матриц пресс-форм. Конечно-элементная модель матриц состоит из 4863 элементов, соединенных между собой 5140 узлами (рис. 2). В результате численного эксперимента установлено распределение температур, напряжений и деформаций по объему матрицы на протяжении одного цикла эксплуатации пресс-формы.

Максимальная температура рабочей поверхности составила 576 °С, эквивалентные температурные напряжения (в упругой области) на рабочей поверхности в локальном объеме равны 2020 МПа, толщина рабочего слоя перешедшего в пластическое состояние 2,0 мм, величина относительной упругой и пластической деформации, соответственно, равны 0,0064 и 0,1581. Эти данные в дальнейшем использованы для выбора режимов термоусталостных испытаний и численного моделирования теплонапряженного состояния матрицы в зависимости от основных конструктивных параметров пресс-формы.

Из условия максимума суммарных температурных и механических напряжений на рабочей поверхности матрицы, а также используя рекомендации [3], получены формулы для расчета основных конструктивных элементов матрицы (S_m – толщина стенки, S_k – расстояние до системы водоохлаждения, $S_{обр}$ – ширина обрамления):

$$S_m = S_{\min} + \frac{\sigma_{0,2}(1-\mu)\lambda_m}{A_\sigma q_{отл} \alpha_m E_m}, \quad (1)$$

$$S_k = \frac{z_1 - 1}{z_1 - \frac{1}{2}} S_m, \quad (2)$$

$$S_{обр} = \frac{z_1 - 1}{z_1 - \frac{1}{2}} R_{отл}, \quad (3)$$

где
$$z_1 = \sqrt{\frac{K_T K_{\text{рел}} E_m \alpha_m K_3 \kappa S_m \Delta t_{\text{max}}}{\lambda_m (1-\mu)}} / \sqrt{\frac{K_m K_{\text{рел}} E_m \alpha_m K_3 \kappa S_m (t_k - t_{\text{ф}})}{\lambda_m (1-\mu)}} - p}.$$

В приведенных выражениях (1) – (3) приняты следующие обозначения S_{\min} – минимальная толщина, необходимая для обеспечения надежности сопряжения и посадки стержней и выталкивателей, м; $\sigma_{0,2}$ – предел текучести материала матрицы при максимальной температуре на рабочей поверхности, МПа; μ – коэффициент Пуассона при температуре контакта; λ_m – теплопроводность материала матрицы при температуре контакта, Вт/(м·К); $q_{отл}$ – тепловой поток, передаваемый от отливки к матрице, Вт/м²; α_m – коэффициент линейного расширения материала матрицы при температуре контакта, 1/°С; E_m – модуль упругости материала матрицы при температуре контакта, МПа;

$A_\sigma = f\left(B_i, F_o, P_d, \frac{x_m}{S_m}\right)$ – амплитуда колебаний температурных напряжений на рабочей поверхности матрицы пресс-формы; K_T – температурный коэффициент концентрации напряжений в отверстиях каналов водоо-

лаждения; $K_{\text{рел}}$ – коэффициент релаксации напряжений; κ – коэффициент теплопередачи от отливки через стенку матрицы в окружающую среду, Вт/(м²·К); K_3 – коэффициент жесткости защемления конструкции; Δt_{max} – критический температурный перепад материала обуславливающий мгновенное разрушение в результате термического удара, °С; p – давление пресования поршня, действующее на расплав и передающееся на стенки матрицы, МПа; $R_{отл}$ – половина габаритного размера отливки, м.

Для удобства выполнения инженерных расчетов была разработана номограмма (рис. 3), которая позволяет определить конструктивные параметры матрицы ($S_m, S_k, S_{обр}$) в зависимости от размеров отливки, марки стали и показателя термостойкости ($\kappa = \lambda \cdot \sigma_{0,2} \cdot (1-\mu) / \alpha \cdot E$).

Расчет конструктивных параметров пресс-форм по предложенным выражениям (1) – (3) позволил усовершенствовать конструкцию пресс-формы, снизить температурные напряжения на 11% с 2018 до 1867 МПа, что позволит повысить циклическую долговечность с 350 до 588 циклов теплосмен в 1-й период до момента появления термоусталостных трещин (сетки разгара) на рабочей поверхности формообразующих элементов.

Производственный опыт литья под давлением показывает, что окончательный выход пресс-форм из эксплуатации определяется степенью развития сетки трещин термической усталости и величиной их раскрытия (разгара), то есть шириной трещин. Анализ эксп-

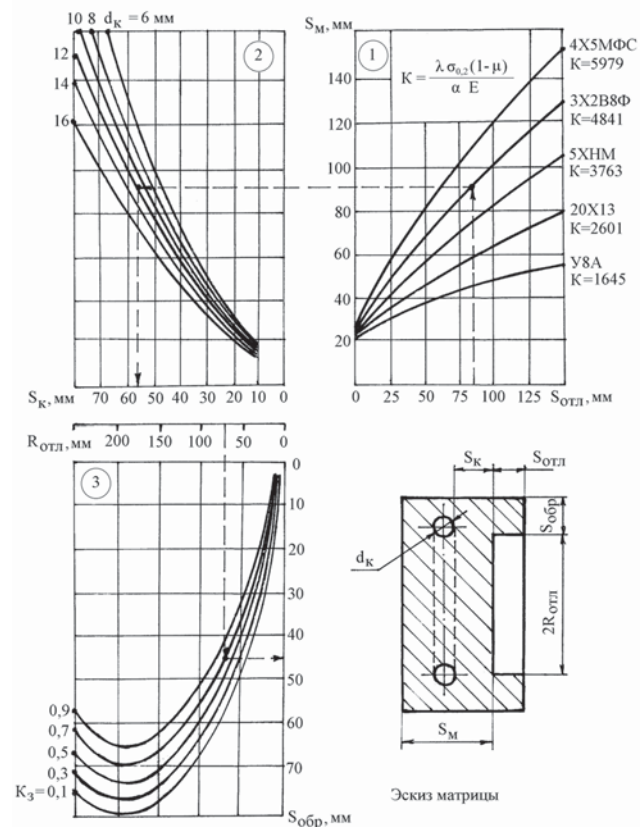


Рис. 3. Номограмма для определения конструктивных параметров формообразующих матриц пресс-формы (пунктиром показан принцип использования номограммы)

луатации пресс-форм в условиях цеха цветного литья ОАО «НПО «САТУРН» показал, что вследствие развития (разгара) трещин термоусталости до критической ширины $h_{кр} \geq 1,5$ мм, извлечение отливок из пресс-формы существенно затрудняется. Это обусловлено образованием на отливках заливов, облоев, заусенец (гребешков), удаление которых требует дополнительных трудозатрат, повышает себестоимость отливок и снижает эффективность литья под давлением. Таким образом, общий эксплуатационный ресурс пресс-форм литья под давлением определяется не только длительностью 1-го периода – количеством запрессовок до момента появления трещин N_1 , а в значительной степени, длительностью второго периода – N_2 , который составляет от 50 до 70% от общего срока эксплуатации пресс-форм.

В работах [4–6] установлено, что на 2-й стадии термоусталостного разрушения в зависимости от свойств материала (марки стали) и параметров теплонапряженного состояния (технологических режимов литья) могут развиваться трещины двух типов. **Усталостные трещины** имеют небольшую ширину раскрытия, но достаточно глубокие, и **квазистатические трещины**, ширина раскрытия которых больше, а глубина меньше, чем у усталостных. Визуальная оценка кинетики развития двух типов трещин (термоусталостной и квазистатической) на реальных пресс-формах показывает [6], что на 2-й стадии эксплуатации пресс-форм наиболее опасной и менее желательной является квазистатическая трещина. Формирование и дальнейшее развитие широких квазистатических трещин в значительной степени обусловлено химическим коррозионным взаимодействием алюминиевого расплава с материалом пресс-формы, что приводит к интенсивному разгара трещин на 2-й стадии эксплуатации.

С целью уменьшения вероятности образования квазистатических трещин и повышения эксплуатационной стойкости пресс-форм в работах [7, 8] показана целесообразность использования коррозионно-стойких сталей типа 20X13 для изготовления формообразующих вкладышей.

Второе направление, обеспечивающее повышение эффективности литья под давлением, это использование литых формообразующих вкладышей с минимальными припусками на механическую обработку. При этом вместо сложнелегированных штамповых сталей рекомендуется использовать экономно-легированную коррозионно-стойкую сталь 20X13, которая обладает высокой эксплуатационной стойкостью в условиях физико-химического взаимодействия с алюминиевым расплавом. Однако существенным недостатком стали 20X13 является пониженная теплостойкость [9], что не позволяет сохранить требуемую твердость (42–45 HRC) при многократных циклических нагревах до температуры 500°C. Это обусловлено низкой тепловой стабильностью карбидов $Cr_{23}C_6$, которые при 475–500°C коагулируют, что и приводит к снижению твердости и прочности.

Для повышения теплостойкости и физико-механических свойств в условиях циклических температурно-силовых воздействий для базовой стали 20X13

был выбран легирующий комплекс (V–N–Al). Выбор указанного комплекса обусловлен следующими соображениями:

- ванадий является не только сильным карбидостабиллизатором, а также нитридообразующим элементом;
- азот обеспечивает формирование в структуре стали высокодисперсных и термодинамически более стабильных, чем карбиды хрома, нитридов и карбонитридов;
- алюминий является раскислителем, а также образует высокодисперсные нитриды, которые, являясь центрами кристаллизации, обеспечивают получение мелкозернистой структуры, а следовательно, более высокий комплекс физико-механических свойств.

Для определения оптимального количества вводимых элементов, обеспечивающих необходимое соотношение структурных и фазовых составляющих, использовали диаграмму Шеффлера, а также многопараметрическую оптимизацию химического состава стали методом главных компонент. В результате проведенных исследований [10] получен оптимальный химический состав экономно-легированной коррозионно-стойкой стали для изготовления литых формообразующих вкладышей пресс-форм ЛПД: 0,18–0,22% C, 9,3–10,0% Cr, 0,9–1,05% V, 0,11–0,15% N, 0,7–0,85% Al. На рабочую сталь 20X10AЮФЛ получен патент РФ №2193073.

Для определения наиболее эффективных режимов термообработки стали 20X10AЮФЛ, обеспечивающих наилучший комплекс физико-механических и эксплуатационных свойств, в работе [11] исследовано влияние температуры закалки в интервале 950–1200°C и температуры последующего отпуска от 350 до 650°C на структуру и свойства стали. Установлено, что наилучшим режимом термообработки является закалка с температуры 1150°C (масло) и последующий высокий отпуск при температуре 600°C в течение 1,5 ч. Это обеспечивает формирование трооститной структуры «корзиночного» типа с содержанием остаточного аустенита не более 5%.

После указанной термической обработки сталь имеет следующие свойства: $\sigma_B = 1045–1070$ МПа, $\delta = 20–23\%$, $KCU = 1200–1245$ кДж/м², твердость 44–48 HRC. Теплостойкость оценивали по количеству термоциклов N_1 до появления первой трещины при термоусталостном испытании образцов по режиму $t_{u\ min} = 300^\circ C \leftrightarrow t_{u\ max} = 700^\circ C$. Испытания проводили на специальной установке, работающей по принципу нагрева образцов проходящим током и охлаждения в воздушном потоке под вентилятором. Термостойкость стали 20X10AЮФЛ составляет $N_1 = 875–940$ термоциклов, что в 1,5–2,0 раза больше термостойкости стали 5XHM, 3X2B8Ф, 4X5MФС [2].

Из стали 20X10AЮФЛ способом точного литья по выплавляемому модели изготвлен комплект формообразующих вкладышей с минимальными припусками на механическую обработку. Внешний вид вкладышей представлен на рис. 4. Вкладыши прошли производственное испытание в условиях цеха цветного ли-

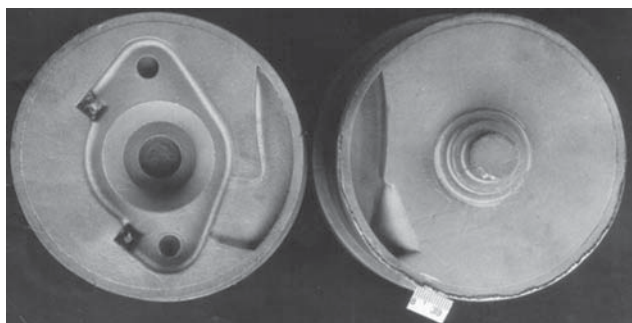


Рис. 4. Внешний вид вкладышей

тв. ОАО «НПО «САТУРН». После 34000 запрессовок на рабочей поверхности вкладышей обнаружены трещины термоусталости шириной менее 1,0 мм, что указывает на возможность дальнейшей эксплуатации пресс-форм.

В результате производственных наблюдений за эксплуатацией пресс-форм установлено, что при длительной эксплуатации пресс-форм приходится увеличивать время выдержки отливки в форме. Это обусловлено образованием слоя накипи и отложений в каналах системы водоохлаждения. По данным визуального осмотра, толщина слоя достигает 2,0–2,5 мм, что приводит к значительному снижению эффективности теплоотвода, нарушению расчетного теплового баланса системы «отливка – форма», повышению температуры поверхности контакта отливки с матрицей и, в конечном счете, к снижению эксплуатационной стойкости пресс-форм. Анализ температурного режима системы «отливка – форма» с учетом коэффициентов теплопроводности слоя смазки, материала матрицы и отложений позволил рассчитать длительность эксплуатации пресс-форм $\tau_{кр}$ до момента образования отложения толщиной $\delta_{кр} = 2,0$ мм [12]. При длительности полного цикла изготовления отливки $\tau_{ц} = 1,5$ мин и принятой критической толщине слоя $\delta_{кр}$ количество, соответствующее $\tau_{кр}$ запрессовок, составляет 7–8 тыс. Дальнейшая нормативная эксплуатация пресс-форм возможна только после устранения образовавшегося слоя. Это может быть реализовано с помощью специально разработанного промывочного модуля и использования высокоэффективных очищающих жидкостей с присадкой поверхностно-активных добавок «ПАВИСИЛ» или «БРИЗ», составы которых разработаны в Институте водного транспорта, Санкт-Петербург.

Следующим направлением повышения эффективности литья под давлением является увеличение срока службы пресс-плунжеров камеры прессования машины ЛПД. Наиболее распространенным материалом для изготовления пресс-плунжеров является чугун СЧ15, СЧ20, который имеет хорошую обрабатываемость резанием и удовлетворительные антифрикционные свойства. Однако вследствие химического взаимодействия и растворения железа чугуна в алюминиевом расплаве происходит коррозионное разрушение, то есть на поверхности пресс-плунжера образуются каверны, которые в дальнейшем интенсивно развиваются и образуются зазоры между пресс-плунжером и камерой прессования. Это приводит к попа-

данию жидкого расплава в зазор и образованию облоя и задигов на поверхности пресс-плунжера и камеры прессования. Вследствие этого не обеспечивается необходимое давление прессования, нарушается нормальная работа машины ЛПД и поршень снимается с эксплуатации. По литературным и производственным данным, эксплуатационная стойкость поршней составляет около 250–350 запрессовок.

Известно, что коррозионное взаимодействие, то есть растворимость различных элементов в расплавах, обусловлена разностью электроотрицательностей растворителя (алюминиевого расплава) и растворяющегося элемента (основа серого чугуна пресс-плунжеров). Поэтому для предотвращения химического взаимодействия (коррозии) чугунных пресс-плунжеров с алюминиевым расплавом в работе [13] было предложено алитирование чугунных пресс-плунжеров при $t = 1000^\circ\text{C}$ в течение 15 часов в порошкообразной смеси состава: 65% ферроалюминия ФАП-68; 33,5% окиси алюминия; 1,5% хлористого аммония. При этом на пресс-плунжерах образуется алитированный слой толщиной 0,3–0,5 мм. Срок службы алитированных пресс-плунжеров увеличился в 3–5 раз и составил 800–1500 запрессовок.

Необходимо отметить, что алитирование чугунных тиглей является эффективным средством защиты от насыщения алюминиевых сплавов железом при наплавке и длительной выдержке алюминиевых сплавов в раздаточных печах.

Одним из недостатков алитированных пресс-плунжеров является возможность местного (локального) скола защитного алитированного слоя при эксплуатации в условиях динамических нагрузок. Этого недостатка лишен биметаллический пресс-плунжер, конструкция и технология изготовления которого разработаны на кафедре «Материаловедение, литье и сварка» РГТА [14]. Принципиальная конструкция пресс-плунжера представлена на рис. 5.

Повышенная эксплуатационная стойкость пресс-плунжера обеспечивается за счет того, что на чугунном корпусе диаметром D_1 литьем в кокиль формируется сменная обечайка коррозионно-стойкого и износостойкого материала БрА9ЖЗЛ. Эксплуатационная стойкость разработанного пресс-плунжера диаметром $D_2 = 90$ мм в производственных условиях составила 3000–3250 запрессовок.

Таким образом, в результате комплекса проведенных исследований разработаны и прошли производ-

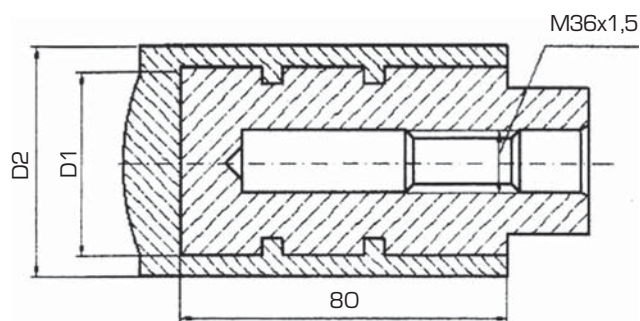


Рис. 5. Конструкция биметаллического пресс-плунжера

ственное опробование следующие организационно-технические мероприятия, обеспечивающие повышение эффективности литья под давлением:

- использование программы BALPRF и номограммы (рис. 3) позволяет разработать оптимальную конструкцию пресс-формы, то есть повысить эксплуатационную стойкость пресс-форм;
- применение экономно-легированной стали 20Х10АЮФЛ вместо традиционно используемых штамповых сталей, а также литых формообразующих вкладышей позволяет на 30–40% снизить стоимость пресс-форм и 2–2,5 раза увеличить срок службы пресс-форм по сравнению с требованием ГОСТ 19446 – 74;
- периодическая промывка системы охлаждения пресс-форм специальной очищающей жидкостью обеспечивает стабильность технологического процесса и качества отливок в течение всего срока эксплуатации пресс-форм;
- применение алитированных или биметаллических пресс-плунжеров в 1,5 раза сокращает расходы на их изготовление и обеспечивает более ритмичную работу машин литья под давлением.

Список литературы

1. Жуков А. А., Березин Д. Т. Расчет теплового баланса пресс-форм литья под давлением // Заготовительное производство в машиностроении. – 2003. – №1. – с. 9–13.
2. Березин Д. Т. Повышение эксплуатационной стойкости пресс-форм литья под давлением на основе анализа теплонапряженного состояния и моделирования процессов термостатического разрушения. – Автореф. канд. дисс. – Рыбинск, РГАТА. – 2002.
3. Тимофеев Г. И., Леушин И. О., Нищенков А. В. Расчет толщины стенки формообразующего вкладыша пресс-форм литья под давлением // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1992. – №9. – с. 55–58.
4. Дульнев Р. А., Котов П. И. Термическая усталость металлов. – М.: Машиностроение, 1980. – 203 с.
5. Третьяченко Г. Н., Кравчук Л. В. и др. Термическая усталость материалов в условиях неоднородного термонапряженного состояния. – Киев.: Наукова думка, 1985. – 277 с.
6. Жуков А. А., Постнова А. Д., Рябов Ю. В. Особенности термоусталостного разрушения штамповых сталей 3Х2В8Ф и 4Х5МФС в условиях эксплуатации пресс-форм литья под давлением // МиТОМ. – 1994. – №4. – с. 34–37.
7. Жуков А. А., Постнова А. Д., Рябов Ю. В. Коррозионно-стойкие стали – перспективный материал для изготовления пресс-форм ЛПД // Труды I собрания металлословов России. – Пенза, 1993. – с. 90–91.
8. Фасхутдинов Р. Р., Журавлев В. Н., Николаева О. И. О применении коррозионно-стойких сталей для пресс-форм ЛПД // МиТОМ. – 1986. – №4. – с. 2–8.
9. Гольдштейн М. Н., Грачев С. В., Векслер Ю. Г. Специальные стали – М.: МИСИС, 1999. – 408 с.
10. Немтырев О. В., Жуков А. А., Виноградова О. В., Шишкин В. Н. Синтез требуемых служебных характеристик сталей и сплавов на их нейрорулируемых стохастических моделях // Справочник. Инженерный журнал. – 2005. – №10. – с. 12–16.
11. Немтырев О. В. Разработка и исследование высококачественных литейных хромистых сталей для пресс-форм литья под давлением алюминиевых сплавов. Автореф. канд. дисс. – Рыбинск, РГАТА – 2005.
12. Жуков А. А., Жуков В. А. О состоянии температурного режима водоохлаждаемой литейной оснастки-формы в процессе эксплуатации // Прогрессивные технологические процессы и высококачественные сплавы в литейном производстве. – Сб. науч. тр. РГАТА, 1995. – с. 60–64.
13. Жуков А. А. Повышение эксплуатационной стойкости изделий, работающих в контакте с алюминиевыми расплавами // Труды науч.-техн. конф. «Прогрессивные методы получения конструкционных материалов и покрытий, повышающих долговечность деталей машин». – Волгоград, 1990. – с. 60.
14. Борисов В. А., Жаворонкова Н. В. Биметаллический пресс-плунжер для машин литья под давлением. / Тез. докл. Российской науч.-техн. конф. «Новые материалы, прогрессивные технологические процессы и управление качеством в заготовительном производстве». – Рыбинск, РГАТА, 2002. – с. 67. – 70.

В.К. Кононенко (канд. техн. наук, доцент, Рыбинская государственная авиационная технологическая академия имени П. А. Соловьева)

Оценка горячеломкости сплавов по упругим характеристикам

Оценка горячеломкости сплавов осуществляется обычно с помощью различных технологических проб [1, 2]. Такой способ комплексной оценки горячеломкости сплава имеет свои преимущества, однако не связан напрямую с присущими данному сплаву физико-механическими свойствами в окрестности температурного диапазона образования горячих трещин, что ограничивает возможности использования различных проб и лишает их универсальности.

Теоретической базой для анализа горячеломкости является предположение о том, что при деформировании в температурном интервале хрупкости сплав ведет себя преимущественно упруго [2–4]. Исходя из этого, в работе [2] сделан вывод о том, что «...в качестве количественной характеристики горячеломкости сплавов D_0 необходимо выбрать предельную деформацию этих сплавов при температу-

ре их солидуса». Кроме того, Л.П. Каширцевым было доказано, что деформационную способность сплава в интервале кристаллизации в первом приближении можно оценить по величине только предельной упругой деформации, которая может быть приближенно рассчитана по максимальному значению величины модуля упругости (E) сплава при температуре образования горячих трещин $E_{тр}$.

$$D_0 \sim \max E_{тр}^{-1}. \quad (1)$$

Если D_0 рассматривать как характеристику трещиностойчивости сплава, тогда величина $\max E_{тр}$ будет характеризовать склонность сплава к образованию горячих трещин. При этом практическая часть задачи сводится к получению надежных количественных оценок упругих свойств сплава в окрест-

ности температурного интервала образования горячих трещин.

В работах [5, 6] на основе динамического метода определения характеристик упругости с использованием составного образца были принципиально решены задачи измерения E сплавов, в частности, вблизи температуры солидус. Для анализа поведения характеристик упругости сплавов в интервале кристаллизации предложен критерий упругости W . Его величина рассчитывается по следующему выражению:

$$W = \frac{E_i - E_L}{E_S - E_L}, \quad (2)$$

где E_S, E_L и E_i величины модулей упругости сплава, соответственно, при температурах солидус, ликвидус и i -й (текущей) температуры из интервала кристаллизации.

Расчетная зависимость модуля упругости исследуемого сплава для составного образца в общем виде может быть представлена следующим образом:

$$E_2 = Af_{1uzc}^2 - BE_1, \quad (3)$$

где E_1 и E_2 – соответственно, модули упругости материала оболочки и измеряемого сплава, f_{1uzc} – частота первой гармоники изгибных резонансных колебаний составного образца, A и B численные коэффициенты, зависящие от инерционных и геометрических параметров составного образца. Для простоты и удобства справедливо заменить в выражении (2) величины модуля упругости на соответствующие значения квадратов частот колебаний составного образца:

$$W = \frac{f_i^2 - f_L^2}{f_S^2 - f_L^2}. \quad (4)$$

С помощью критерия упругости установлен характер изменения упругих свойств в интервале кристаллизации для сплавов различной основы и различной концентрации легирующих элементов [7]. Используемая методика позволяла одновременно с оценкой изменений критерия упругости определять по тепловому эффекту изменения доли твердой фазы ψ в процессе кристаллизации сплава.

Покажем возможность использования приведенной методики для оценки горячеломкости на сплаве МЛ5. При литье в кокиль фасонных отливок из этого сплава в отливках периодически возникает повышенный брак по горячим трещинам. Трещины располагаются, в основном, в местах подвода питателей, сопряжения стенок, значительно отличающихся по толщине. Предварительный анализ брака отливок из сплава МЛ5 показал, что склонность к образованию трещин часто не связана с особенностями технологии литья или конструкции отливок. При чем количество забракованных по горячим трещинам отливок существенно возросло при использовании сплава, приготовленного с использованием в шихте доли возврата собственного производства

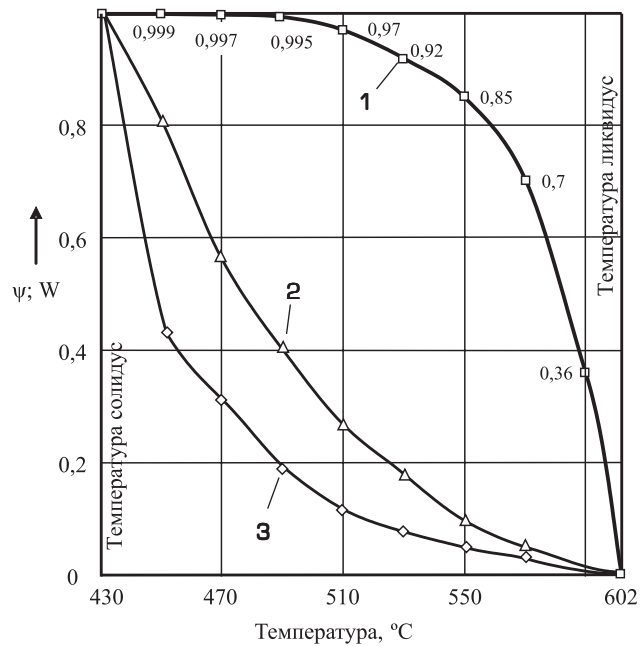


Рис. 1. Температурная зависимость критерия упругости сплавов МЛ5: **1** – изменения ψ для исследованных сплавов; **2** – изменения критерия упругости W сплава МЛ5, приготовленного с использованием возврата в шихте; **3** – изменения критерия упругости W сплава МЛ5, приготовленного из чистых шихтовых материалов

(состав шихты: чушковый сплав МА8Ц, чистые металлы – магний Mg90, алюминий А8 и цинк Ц2, лигатуры Al – 8–12% Mn и Al – 4–6% Be, а также до 60–80% возврата). Поэтому особое внимание в процессе исследования было уделено влиянию металлургических факторов. Было сделано предположение, что склонность сплава к образованию горячих трещин связана с особенностями изменения реологических свойств, в частности, с различием в поведении критерия упругости сплава в интервале кристаллизации. В этом случае соотношение (1) примет вид:

$$D_0 \sim \max W_{tp}^{-1}. \quad (5)$$

Для проверки этого предположения было изготовлено по 3 составных образца, приготовленных из сплава годной и дефектной по горячим трещинам отливок. В качестве оболочки использовали стальную трубку. Измерения критерия упругости проводили для каждого образца по 6–8 раз. На рис. 1 приведен темп кристаллизации сплава МЛ5 ψ (кр. 1), и изменения критерия упругости (W) для сплавов, приготовленных из годной (кр. 2) и дефектной (кр. 3) отливок в процессе кристаллизации. Из рис.1 видно, что в кинетике изменения W имеются различия. На кр. 2 отмечается относительно слабый рост величины W вплоть до эвтектической температуры. Достигнув этой температуры, W резко повышается. В сплаве дефектной отливки такого скачка не наблюдали. Критерий упругости в этом случае монотонно возрастал. Темп кристаллизации сплавов обеих плавок не показал сколько-нибудь существенного отличия, поэтому на рис.1 он представлен одной кривой.

Результаты химического анализа сплава МЛ5 дефектной и годной отливок

Номер плавки	Содержание элементов, %					
	основные компоненты			примеси		
	Al	Mn	Zn	Si	Cu	Zr
1	8,4	0,23	0,34	0,054	0,0214	0,002
2	8,4	0,26	0,41	0,11	0,0017	0,002

Для определения температурного интервала образования горячих трещин воспользовались методикой, описанной в работе [8]. Установлено, что горячие трещины в сплаве МЛ5 при затрудненной усадке образуются при подходе к температуре солидус, то есть при температуре, где наблюдаются отмеченные выше особенности изменения W . Поэтому для оценки горячеломкости сплава можно воспользоваться максимальными значениями W в непосредственной близости к температуре солидус при значениях доли твердой фазы 99,9 %. Для сплава годной отливки $\max W_{\text{тр1}} = 0,43$, а для сплава дефектной отливки $\max W_{\text{тр2}} = 0,81$. В соответствии с выражением (2) можно сопоставить горячеломкости двух исследуемых плавков сплава МЛ5.

$$\frac{D_{\text{Cu1}}/D_{\text{Cu2}}}{D_{\text{O2}}/D_{\text{O1}}} = \max W_{\text{тр2}} / \max W_{\text{тр1}} = 0,81 / 0,43 = 1,88.$$

То есть, показатель горячеломкости сплава годной отливки существенно выше показателя для сплава дефектной отливки.

Образование горячих трещин на заключительном этапе затвердевания вблизи температуры солидус обычно связано с кристаллизацией сложных эвтектик. Применительно к сплаву МЛ5 (системы Mg-Al-Zn) это могут быть эвтектики, образующиеся с участием примесей.

Для исследования влияния шихтовых материалов на горячеломкость приготовили две плавки сплава МЛ5. Первая – из чистой шихты, без использования возврата, вторая – из шихтовых материалов, содержащих 60% возврата. Обе плавки готовились в производственных условиях, по существующей технологии. Из каждой плавки отливали партии по 50 шт. одинаковых отливок типа «корпус». Процент брака по горячим трещинам отливок, полученных из 1-й и 2-й плавков, составил 12 и 38%, соответственно, что качественно согласуется с теоретической оценкой.

Химический анализ плавков, приведенный в таблице, показывает, что основное отличие плавков состоит в содержании цинка и примесей меди и кремния.

Структура сплава МЛ5 состоит из твердого раствора Al в Mg и эвтектических выделений γ -фазы – интерметаллида Mg_4Al_3 . По данным работы [9], увеличение содержания цинка в сплаве Mg + 9 %Al может привести к появлению в сплаве выделений $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ по границам зерен, которые существенно увеличивают склонность этого сплава к образованию горячих трещин. Во 2-й плавке Zn содержится

несколько больше, чем в 1-й, однако маловероятно предполагать, что причина повышения горячеломкости сплава – в увеличении содержания Zn. Медь практически не растворима в твердом Mg. Ее влияние на структуру и свойства магниевых сплавов недостаточно изучено. Теоретически возможно, что медь образует в промышленных магниевых сплавах вырожденную эвтектику. Принимая во внимание, что содержание Cu во 2-й плавке меньше, чем в 1-й, влияние ее на горячеломкость можно считать также маловероятным.

Кремний в Mg при эвтектической температуре 637°C, по первоначальным сведениям [10], имеет растворимость менее 0,12% (по массе). Более поздние данные [11] указывают на ничтожную растворимость: 0,0027 – 0,0030% при температуре, близкой к эвтектической. Эвтектическая точка в системе Mg-Si (точнее Mg-Mg₂Si) расположена при концентрации 1,34% Si. Таким образом, примеси кремния в промышленных сплавах должны либо образовывать самостоятельную эвтектику Mg-Mg₂Si, либо входить в тройную эвтектику Mg- γ -Mg₂Si. В любом случае в структуре должны наблюдаться выделения богатой кремнием фазы. Идентифицировать их можно либо специальными способами травления, либо микрорентгеноспектральным анализом. Последний метод был использован в данной работе. Распределение кремния в структуре сплава МЛ5 было изучено

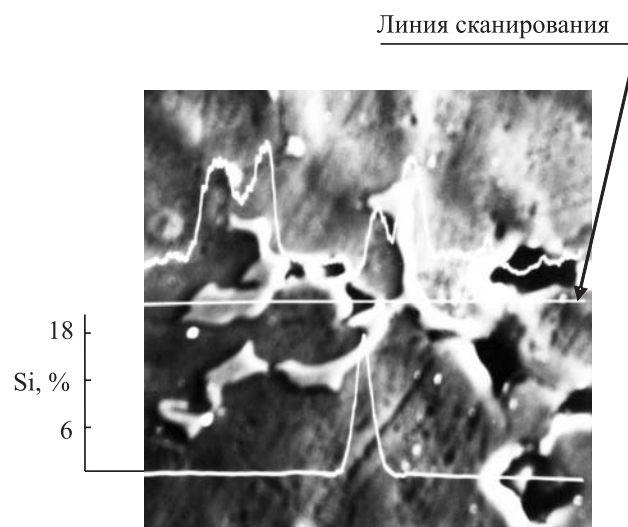


Рис. 2. Результаты микрорентгеноспектрального анализа сплава МЛ5, x700

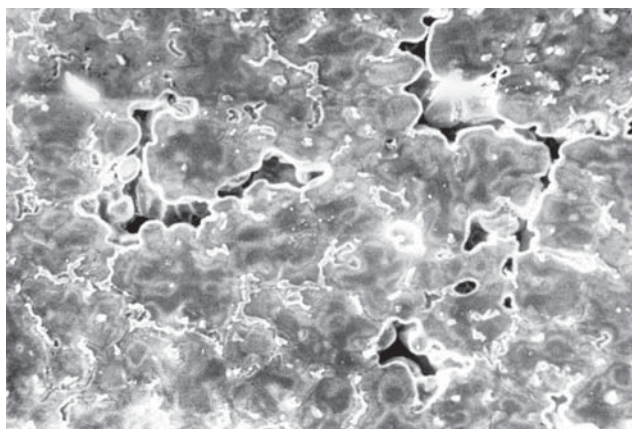


Рис. 3. Структура сплава МЛ5 с микрошлифа, вырезанного из участка отливки, подверженного пористости и горячим трещинам

но на установке COMEBAH (рис.2). В результате проведенных исследований было установлено, что кремний, в основном, входит в состав дисперсных выделений с острыми гранями, располагающихся преимущественно по границам зерен совместно с γ -фазой. Как показал количественный анализ, содержание кремния в указанных выделениях достигает 15%, что позволяет отождествить их с силицидом магния Mg_2Si . Особенно сильное образование силицида магния наблюдали при среднем содержании кремния в сплаве $\geq 0,07\%$. При этом ликвационные процессы увеличивают вероятность образования данной фазы.

Исследования на растровом электронном микроскопе BS-300 микрошлифов, вырезанных из участков отливок, подверженных пористости и горячим трещинам, позволило установить, что перечисленные дефекты располагаются исключительно по границам зерен и ориентируются по эвтектике (рис. 3).

На механические свойства сплава, а следовательно, и на горячеломкость оказывают отрицательное влияние различные факторы, в том числе неодинаковые упругие свойства матрицы и включения, а также неблагоприятная форма включения с острыми вершинами [12], что характерно для фаз, представляющих собой химические соединения. Известно [1], что сплавы, имеющие в своем составе малое по объему количество эвтектики, в том числе неравновесной, образующейся при литье в кокиль, вследствие проявления эффекта адсорбционного понижения прочности, имеют высокую склонность к горячим трещинам. В случае с исследуемым сплавом МЛ5, наряду с пониженной прочностью, вызванной наличием в структуре малого ($\sim 0,1-0,5\%$ по объему) количества эвтектики, появление остроугольных включений силицида магния приводит к более интенсивному росту модуля при понижении температуры вплоть до температуры солидус, тем самым, снижая деформационную способность сплава, что, видимо, имеет место для сплава дефектной отливки (рис. 1, кр.2). Иными словами, для сплава, приготовленного из свежих шихтовых материалов имеются необходимые, а для сплава второй плавки имеются необходи-

мые и достаточные условия возникновения горячих трещин.

В работе были изучены возможные источники повышенного содержания примеси кремния в сплаве МЛ5. Этим источником оказался возврат. Поэтому для снижения брака в отливках по горячим трещинам необходимо при подготовке шихтовых материалов к плавке более тщательно очищать возврат от пригара, содержащего в своем составе SiO_2 . При снижении трещиностойкости отливок требуется обновлять сплав, снижая в шихте процент возврата.

Выводы.

1. Сравнительную оценку горячеломкости сплавов предлагается проводить по изменению критерия упругости сплава в интервале кристаллизации с использованием метода определения характеристик упругости сплава по методике составного оболочкового образца.
2. Проведенные по предлагаемому способу исследования сплава МЛ5 позволили выявить причины повышения склонности сплава к горячим трещинам и назначить меры по предупреждению этого вида брака в отливках из сплава МЛ5 при литье в кокиль.

Список литературы

1. Новиков И.И. Горячеломкость цветных металлов и сплавов. – М.: Наука, 1966. – 300 с.
2. Баландин Г.Ф. Основы теории формирования отливки. Ч.2. – М.: Машиностроение, 1979. – 335 с.
3. Тихомиров М.Д., Сабиров Д.Х. Численное моделирование образования горячих трещин в отливках из алюминиевых сплавов // Литейное производство. – 1992. – №6. – С.32–33.
4. Дружевский М.А. Деформационные процессы в стальных отливках // Литейное производство. – 2003. – №12. – С.4–6.
5. Кононенко В.К., Каширцев Л.П., Драпкин Б.М. Определение модуля упругости сплава в высокотемпературной области и интервале кристаллизации // Литейное производство. – 1989. – №2. – С. 7–8.
6. Драпкин Б.М., Кононенко В.К., Воздвиженский В.М. Разработка способа исследования упругих и релаксационных свойств металлов и сплавов при высоких температурах, плавлении и кристаллизации. Деп. рукопись, N8454–В. ВИНТИ. (1985).
7. Свойства сплавов в экстремальном состоянии и их учет в технологических расчетах / Драпкин Б.М., Кононенко В.К., Безъязычный В.Ф. – М.: Машиностроение, 2004. – 260 с.
8. Драпкин Б.М., Кононенко В.К. Метод испытания литейных сплавов на горячеломкость // Прогрессивные технологические процессы в литейном производстве. – Ярославль, 1985. – С.55.
9. Ванг Е-чанг, Ванг Ку-донг, Ма Чун-янг и др. Склонность сплавов $Mg-9Al-xZn-yRE$ к образованию горячих трещин // Zhongguo youse jinshu xuebao – Chin. J. Nonferrous Metals. 2003. 13. №1. – С. 40–45.
10. Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов. – М.: Металлургиздат. 1962. – Т. 1. – 608 с.
11. Эллиот Р.П. Структуры двойных сплавов. – М.: Металлургия, 1970. – Т.1. – 536 с.
12. Зубарев А.Г. Теория и технология производства стали для МНЛЗ. – М.: Металлургия, 1986. – 232 с.

Р.В.Барабанов (аспирант), В.А. Изотов (канд. техн. наук, доцент,
ГОУ ВПО «Рыбинская государственная авиационная технологическая академия
имени П.А.Соловьева», г. Рыбинск)

Разработка методики расчета размеров литниково-питающих систем для отливки типа «Решетка» из алюминиевых сплавов

При изготовлении методом литья в песчаную форму художественных отливок типа «Решетка» возникают существенные трудности, обусловленные, прежде всего, особенностями их геометрической формы. К ним относятся: малая приведенная толщина, значительная площадь поверхности, наличие протяженных элементов, часто сопряженных с тепловыми узлами. При изготовлении подобных отливок на стадии заполнения полости формы расплавом имеет место значительный пробег металла, в результате – охлаждение и возникновению таких дефектов, как спай и неслитина [2]. Для устранения подобных дефектов в практике литейного производства рекомендуется повысить либо температуру формы, либо температуру заливаемого расплава. Однако первый способ практически не может быть реализован при литье в песчаные формы, а второй приводит к увеличению вероятности образования других видов дефектов, прежде всего, усадочного характера, особенно в тепловых узлах.

Решение задачи повышения качества отливок может быть осуществлено путем совершенствования конструкции литниковых систем, которые позволили бы существенно сократить пробег расплава как в элементах самой литниковой системы, так и полости литейной формы, а также обеспечили бы более полное удаление газов и одновременное начало течения расплава в различных частях формы.

С целью уменьшения пути расплава в полости формы и обеспечения более равномерного распределения температур по объему отливки предлагается конструкция литниковой системы, включающая как многопитательную, так и ярусную литниковые системы одновременно (рис. 1), при этом форма состоит из трех опок. Между 1-й (верхней) и 2-й (средней) расположена литниковая система, а между 2-й и 3-й (нижней) – полость формы. Такое расположение литниковой системы позволяет обеспечить:

1) подвод металла в любое необходимое место отливки,

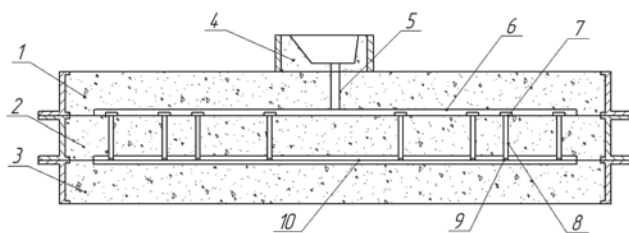


Рис. 1. Эскиз формы в сборе: 1 – верхняя опока; 2 – средняя опока; 3 – нижняя опока; 4 – литниковая чаша; 5 – стояк; 6 – литниковый ход; 7 – верхний питатель; 8 – вертикальный питатель; 9 – нижний питатель с зумфом; 10 – полость формы

2) укороченный пробег металла как в каналах литниковой системы, так и в полости формы,
3) выравнивание температурного поля отливки.

С целью определения коэффициента расхода и коэффициентов местных сопротивлений литниковой системы были проведены эксперименты по гидромоделированию.

Исследования проводились с помощью подогретой до 40°C воды, так как кинетическая вязкость воды в этом случае позволяет моделировать процесс течения перегретого алюминиевого сплава. Моделирование проводили при переменных напорах. Затем последовательно удаляли элементы системы (рис. 2) и для каждой полученной таким образом новой модели литниковой системы находили практический расход экспериментальным путем, также при переменных напорах. Для этого секундомером измеряли время истечения через систему определенного количества воды. Зная площадь узкого места, рассчитывали общий расход, теоретический расход и коэффициент расхода литниковой системы. Далее определяли коэффициент местных потерь каждой литниковой системы. Исходя из полученных данных, рассчитывали коэффициент местных потерь удаленного элемента системы.

Соотношение элементов литниковой системы было следующим:

$F_{ст} / F_{шл} / F_{пит.верх} / F_{ст.пит} / F_{пит.нижн} = 1, 2 / 2 / 1, 1 / 1 / 1;$
где $F_{ст}$ – площадь сечения стояка, 2,4 см²; $F_{шл}$ – площадь сечения шлакоуловителя, 4 см²; $F_{пит.верх}$ – площадь сечения верхнего питателя, 2,2 см²; $F_{ст.пит}$ – площадь сечения вертикального питателя (стояк), 2 см²; $F_{пит.нижн}$ – площадь сечения нижнего питателя, 2 см². Высота стояка $H_{ст} = 0,15; 0,20; 0,25$ м. Длина шлакоуловителя $L_{шл} = 0,15$ м. Длина верхнего питателя $L_{пит.в} = 0,10$ м. Высота вертикального питателя $H_{ст.пит} = 0,10$ м.

Расчеты проводили по следующим формулам:

$$Q_n = wF_n,$$

где Q_n – практический расход, м³/с; w – скорость, м/с; F_n – площадь питателя, м²;

$$Q_n = V/t,$$

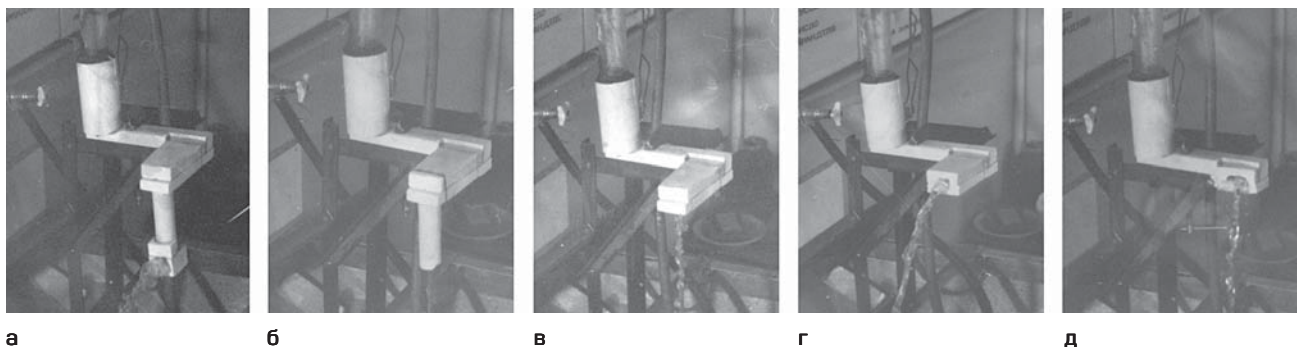
где V – проливаемый объем воды, л; t – время истечения, с;

$$Q_m = F_n \sqrt{2gH},$$

где Q_m – теоретический расход, м³/с; F_n – площадь питателя, м²; H – напор, м;

$$\mu = \frac{Q_n}{Q_m},$$

где μ – коэффициент сопротивления литниковой системы;



Литниковая система	Значения $\mu / \xi_{элем}$ при H, м		
	0,15	0,20	0,25
<i>a</i>	0,37 / 6,30*	0,35 / 7,16*	0,35 / 7,16*
<i>б</i>	0,46 / 2,57	0,44 / 3,00	0,45 / 3,22
<i>в</i>	0,47 / 0,21	0,48 / 0,82	0,50 / 0,94
<i>г</i>	0,62 / 1,92	0,61 / 1,65	0,62 / 1,40
<i>д</i>	0,66 / 0,30	0,68 / 0,53	0,70 / 0,56

Рис. 2, а-д, где **а** – модель литниковой системы; **б** – литниковая система без питателя и зумфа; **в** – литниковая система без вертикального питателя; **г** – литниковая система без перехода в вертикальный питатель; **д** – литниковая система без верхнего питателя;

* ξ системы

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi}}$$

где ξ – коэффициент местного сопротивления.

Полученные экспериментальным путем значения коэффициентов расхода и коэффициентов местных сопротивлений позволили рассчитать размеры литниковой системы по разработанной методике.

Методика расчета геометрических размеров для предложенной литниковой системы следующая:

1. Выбираем все необходимые для расчета физико-технологические параметры металла и формы.

2. Отливку разбиваем на отдельные равные элементы и строим ориентированный граф по следующим геометрическим параметрам: площадь поперечного сечения участка, длина участка, его приведенный размер.

3. Рассчитываем максимально допустимую скорость заполнения полости формы. Для алюминиевых сплавов она определяется по критерию шлакообразования [1,2]:

$$\omega_{ш} = \sqrt[3]{\frac{K_{ш} \cdot \sigma \cdot v \cdot h_n}{\rho \cdot l_0^3}}$$

где $K_{ш}$ – коэффициент шлакообразования; σ – поверхностное натяжение, Н/м; v – кинематическая вязкость, m^2/c ; h_n – толщина оксидной пленки, м; l_0 – приведенный размер элемента, м; ρ – плотность металла, kg/m^3 .

4. определяем коэффициент теплоотдачи α по формуле:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l_0}; \quad Nu = f(Pr, Re)$$

5. Оцениваем потери температуры на участках с помощью теплового расчета по формуле [1]:

$$T_n = (T_{зал} - T_{ф.н.}) \exp \left[\frac{-\alpha \cdot y}{c \cdot \rho \cdot l_0 \cdot \omega_{ш} \cdot (1 + b_m / b_{ф.}) \cdot \sqrt{\lambda_n / \lambda_{ф.}}} \right] + T_{ф.н.},$$

где $T_{зал}$ – температура заливки сплава, К; $T_{ф.н.}$ – температура формы начальная, К; y – длина участка формы, м; c – теплоемкость жидкого сплава, Дж/кг·К; ρ – плотность жидкого сплава, kg/m^3 ; $b_m, b_{ф.}$ – теплоаккумулирующая способность сплава и формы, соответственно, $Вт \cdot c^{0.5} / (m^2 \cdot K)$; $\lambda_n, \lambda_{ф.}$ – коэффициент теплопроводности формы и ее покрытия, соответственно, $Вт / (m \cdot K)$.

6. Проводим данный расчет для всех оставшихся участков.

7. Качественное заполнение полости формы расплавом произойдет только в том случае, если температура потока в конце каждого из участков будет выше температуры ликвидуса сплава.

8. Если на каком-либо из участков температура будет ниже температуры ликвидуса сплава, то расчет производим заново, изменяя температуру заливки либо уменьшая длину заливаемого участка.

9. В зависимости от количества питателей, высоты напора выбираем значения путевых и местных сопротивлений ξ_i

10. Рассчитываем значение коэффициента расхода μ :

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_{общ}}}$$

11. Рассчитываем значение скорости в узком сечении, м/с:

$$w_{уз.с} = \mu \sqrt{2gH}$$



Рис. 3. Полученная отливка

12. Зная площадь сечения элементов отливки, используя уравнение сплошности, определяем узкое место литниковой системы:

$$\sum F_{уз.} = \frac{\sum F_n \cdot \omega_{ш}}{\omega_{уз.}}$$

13. По соотношению элементов литниковой системы ($F_{ст}/F_{шл}/F_{лит.верх}/F_{верт.лит.}/F_{лит.нижн}$) рассчитываем исполняемые геометрические размеры.

С применением данной методики были рассчитаны размеры литниковой системы для отливки представленной на рис. 3.

Список литературы

1. Галдин Н.М., Чистяков В.В., Шатульский А.А. Литниковые системы и приборы для фасонных отливок. – М.: Машиностроение, 1992.– 256 с.
2. Чистяков В.В., Молочков Г.А., Честных В.А., Шатульский А.А. Теория заполнения форм расплавом. – М.: Машиностроение, 1995.– 192 с.

А.Я. Ларионов (канд. техн. наук, доцент), В.В. Мусинов (студент, ГОУ ВПО «Рыбинская государственная авиационная технологическая академия имени П. А. Соловьева, г. Рыбинск)

Прогноз параметров гомогенной кристаллизации в силумине

Параметрами гомогенного зародышеобразования в металлах являются: переохлаждение жидкого металла ниже температуры плавления T_n на величину ΔT_0 или температура гомогенного зародышеобразования $T_0 = T_n - \Delta T_0$, кристаллизационная активность жидкого металла $a_{жт}$ и межфазное натяжение σ на границе «зародыш–расплав». Параметры гомогенного зародышеобразования входят в кинетические уравнения процесса кристаллизации металлов и сплавов, позволяют определить скорость образования зародышей I и скорость роста кристаллов из этих зародышей U . Соотношение этих скоростей определяет размер литого зерна d , зависящий от природы металла (параметров гомогенного зародышеобразования) и условий плавки и литья. Размер зерна в отливках влияет на их механические и другие свойства (при отсутствии дефектов затвердевания). Знание параметров гомогенного зародышеобразования позволяет моделировать и прогнозировать процесс структурообразования в отливках, выбирать режимы кристаллизации для получения той или иной структуры.

Сплавы на алюминий-кремниевой основе – силумины – относятся к числу наиболее распространенных литейных алюминиевых сплавов. Содержание кремния в них меняется от 1 до 25%, поэтому сложно моделировать процесс кристаллизации силуминов, то есть сплавов системы Al–Si, так как параметры гомогенного зародышеобразования кремния и алюминия ($a_{жт}$) неизвестны.

В работе сделан прогноз параметров гомогенного зародышеобразования кремния и алюминия.

Процесс образования зародышей в переохлажденных жидких металлах очень сложен.

Для описания процесса зародышеобразования и прогноза размера литого зерна d необходимо знать

параметры гомогенного зародышеобразования и учитывать множество физико-химических свойств металлов в жидком и твердом состояниях, которые отличаются иногда не только по величине, но и по знаку. Например, у металлов с металлической связью объем при кристаллизации уменьшается, а у ковалентных металлов увеличивается, поэтому требуется дополнительная энергия при образовании зародыша на преодоление внутреннего давления жидкого металла. Аналогично и разность координационных чисел в твердом и жидком состояниях у ковалентных металлов отрицательна, а у металлов с металлической связью положительна. Подобным образом ведут себя и другие сравниваемые свойства этих групп металлов. Различия в свойствах металлов обусловлены различием их электронного строения, которое нельзя пока выразить аналитически, основываясь на квантово-механических расчетах. Поэтому в настоящее время аналитическая зависимость переохлаждения металлов при гомогенном зародышеобразовании ΔT_0 и физико-химическими свойствами металлов или их положением в Периодической системе элементов Д.И. Менделеева практически отсутствует [1]. Экспериментально определить эти параметры очень сложно, требуется уникальное оборудование и, практически, ювелирная нанотехнология. Поэтому переохлаждения жидких металлов при гомогенном зародышеобразовании ΔT_0 экспериментально определены только для семнадцати металлов: Al, Cu, Fe, Ni, Mn, Co, Ag, Au, Pd, Pt, Sn, Bi, Sb, Ga, Ge, Pb и Hg [2].

Параметры гомогенного зародышеобразования взаимосвязаны между собой, поэтому достаточно сделать прогноз для одного из них. Наиболее независимым и безразмерным параметром является кристаллизационная активность переохлажденных жидких

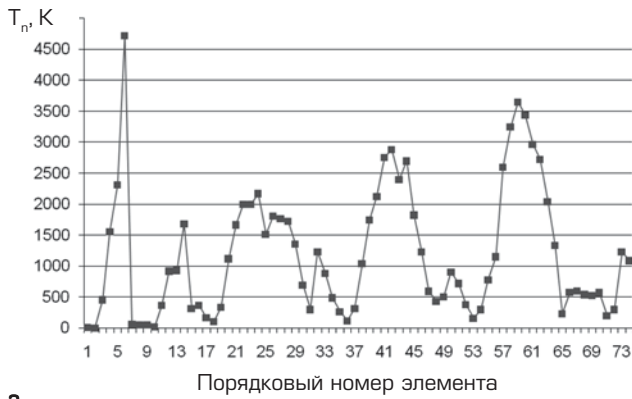
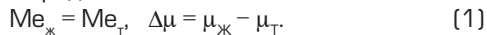


Рис. 1. Изменение свойств элементов в зависимости от атомного номера: а – температура плавления, б – энтропия плавления

металлов $a_{жТ}$. В реальных растворах наблюдается взаимодействие между разноименными атомами. Для учета этого взаимодействия с целью описания поведения реальных растворов Г. Льюис в 1907 г. ввел в теорию растворов понятие «активность», которая характеризует способность компонента раствора к химическому взаимодействию и переходу из одной фазы в другую. Кристаллизационная активность жидких металлов $a_{жТ}$ – это активность жидкого металла относительно твердого металла при температуре T , она характеризует способность жидкого металла или компонента раствора к переходу в твердое состояние и образованию жизнеспособных зародышей. Она зависит от природы металла, величины переохлаждения жидкого металла ΔT , взаимодействия между компонентами раствора, модифицирования, внешних воздействий. Каждый из перечисленных факторов не одинаково влияет на кристаллизационную активность металлов и компонентов сплава. Процесс кристаллизации металлов можно представить схемой:



Изменение химического потенциала $\Delta\mu$ связано с кристаллизационной активностью жидкого металла относительно твердого металла $a_{жТ}$ [1]:

$$\Delta\mu = RT \ln a_{жТ}, \quad (2)$$

где $\mu_{ж}$ – химический потенциал жидкого металла, $\mu_{т}$ – химический потенциал твердого металла, R – газовая постоянная, T – температура кристаллизации.

Кристаллизация возможна, если химический потенциал жидкого металла больше, чем у твердого, так как все процессы самопроизвольно идут только в сторону меньшего химического потенциала. Поэтому кристаллизация происходит только в переохлажденном жидком металле, находящемся в метастабильном состоянии, в котором химический потенциал переохлажденного жидкого металла $\mu_{ж}$ больше химического потенциала твердого металла $\mu_{т}$ при температуре $T = T_n - \Delta T$ на величину $\Delta\mu = \mu_{ж} - \mu_{т}$. Таким образом, кристаллизация металлов возможна, если кристаллизационная активность жидкого металла $a_{жТ}$ будет больше единицы (2). Разность химических потенциалов при переохлаждении жидких металлов $\Delta\mu = \mu_{ж} - \mu_{т}$ можно определить по формуле [1]:

$$\Delta\mu = (\Delta H_n / T_n) \cdot (T_n - T) + \int_{T_n}^T \Delta C_p(T) dT - T \int_{T_n}^T \Delta C_p(T) d \ln T, \quad (3)$$

где ΔH_n – изменение энтальпии при плавлении; T_n – температура плавления металлов; $\Delta C_p(T) = C_p^{ж}(T) - C_p^т(T)$; $C_p(T)$ – температурная зависимость теплоемкости металлов (жидкого и твердого).

Уравнения (2) и (3) позволяют определить неизвестный параметр гомогенного зародышеобразования по известному параметру. Третий параметр – межфазное натяжение σ на границе «зародыш–расплав», определяется из кинетического уравнения скорости образования зародышей I (4) и (5):

$$I = (Dn / [a_0^2]) \exp(-A_{кр} / (kT)), \quad (4)$$

где D – коэффициент диффузии атомов через поверхность раздела «зародыш–расплав», он экспоненциально зависит от температуры по уравнению Аррениуса $D = D_0 \exp(-E / RT)$, D_0 – предэкспоненциальный множитель, не зависящий от температуры, E – энергия активации диффузии (самодиффузии) кристаллизующегося металла, n – число атомов в единице объема, a_0 – межатомное расстояние, $A_{кр}$ – работа образования зародыша критического размера:

$$A_{кр} = (16\pi V^2 \sigma^3) / (3\Delta\mu^2), \quad (5)$$

где V – мольный объем зародыша, σ – межфазное натяжение на границе «зародыш–расплав», $\Delta\mu$ – разность химических потенциалов чистых жидкого и твердого металлов (3). Величина I составляет $2 \cdot 10^8 \text{ см}^{-3}\text{с}^{-1}$.

Для определения кристаллизационной активности кремния при гомогенном зародышеобразовании используем взаимосвязь физико-химических величин Периодической системы Д.И. Менделеева и их зависимость от положения в таблице. Кроме того, Si – ковалентный металл и он находится выше Ge, то есть ковалентные свойства Si выше, чем у Ge, поэтому параметры гомогенного зародышеобразования Si должны быть выше, чем у Ge. Переохлаждение германия при гомогенном зародышеобразовании равно 227 К, $a_{жТ} = 2,152$. Переохлаждение алюминия составляет 137 К, $a_{жТ} = 1,275$, $\sigma = 364 \text{ эрг/см}^2$. На рис. 1 показаны периодические изменения температуры плавления и энтропии плавления элементов в зависимости от их положения в системе Менделеева. Анализ изменения температуры плавления T_n и энтропии плавления S_n показал, что в каждом периоде наблюдается закономерное их изменение. В начале свойства минимальны, затем возрастают, достигая максимума примерно в середине периода, далее снижаются до определен-

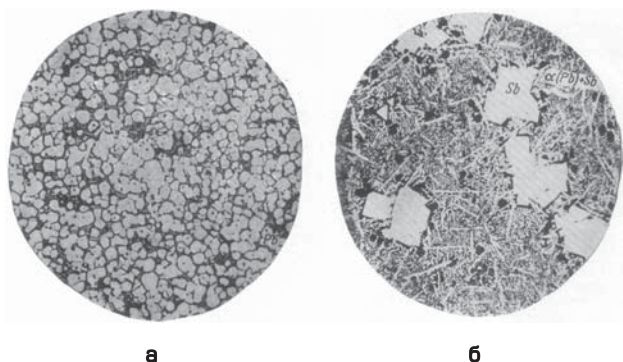


Рис. 2. Микроструктура литых сплавов: **а** – микроструктура литой бронзы БрМцС8-20, $\times 150$, светлые зерна α -твердого раствора $\sim 0,01$ мм; **б** – микроструктура баббита БС (17 % Sb, 1 % Cu, остальное Pb), $\times 100$; светлые кристаллы β (Sb) $\sim 0,1$ мм

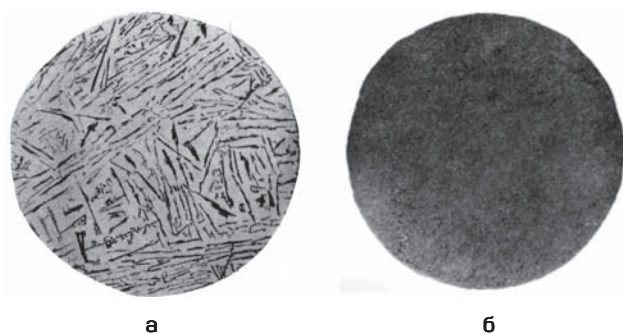


Рис.3. Структура эвтектического силумина: **а** – исходная отливка, **б** – модифицированная натрием

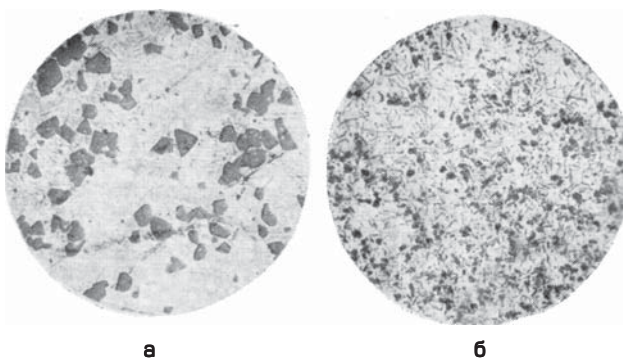


Рис.4. Микроструктура заэвтектического силумина (22% Si): **а** – исходная отливка, **б** – модифицированная фосфором

ного значения. Учитывая подобный характер изменения изученных физико-химических свойств, было предположено, что аналогичный характер будет иметь и изменение кристаллизационных активностей жидких элементов в каждом периоде. Наилучшие совпадения расчетных a_p и экспериментальных a_3 значений кристаллизационных активностей наблюдается при использовании подобия изменения активностей и температур плавления металлов. Для металлов 1 и 2, имеющих температуры плавления $T_{п1}$, $T_{п2}$, отношение кристаллизационных активностей этих металлов $a_1/a_2 = T_{п1}/T_{п2}$. Погрешность по периодам составила 6–26%, то есть наблюдается удовлетворительное соответствие

расчетных и экспериментальных данных. Наилучшие результаты дает использование ближайших металлов Периодической системы. Аналогичные расчеты по группам дают завышенные значения кристаллизационной активности по подобию температур плавления и заниженные значения по подобию энтропий плавления. Расчетная кристаллизационная активность Si по Al равна 2,3. Расчетная кристаллизационная активность у Si самая высокая среди ковалентных металлов, что соответствует его положению в Периодической системе. Переохлаждение Si при гомогенном зародышеобразовании рассчитано по уравнениям (2) и (3) и равно $\Delta T_0 = 338$ К, межфазное натяжение σ на границе «зародыш-расплав» рассчитано по уравнениям (4) и (5) и равно $\sigma = 364$ эрг/см².

Кристаллизационные активности жидких металлов с металлической связью при температуре гомогенного зародышеобразования находятся в пределах 1,234 – 1,324. У ковалентных металлов (Ge, Ga, Bi, Sb и Sn) кристаллизационная активность значительно выше – 1,595–2,152. В этих металлах очень сильно отличаются структуры в жидком и твердом состояниях, образование зародышей сопровождается увеличением объема, кроме Sn, то есть затрачивается дополнительная работа расширения против внешней среды (жидкого металла), связанная с преодолением внутреннего давления жидкого металла. В результате повышается требуемая для зародышеобразования кристаллизационная активность и относительная устойчивость жидких металлов в переохлажденном состоянии. Чем больше энергетические затраты при образовании зародышей, тем больше требуемая кристаллизационная активность, то есть металлы, имеющие более высокую кристаллизационную активность $a_{жТ}$ при гомогенном зародышеобразовании при кристаллизации образуют меньше зародышей, получается более крупная структура, чем у металлов с меньшей кристаллизационной активностью $a_{жТ}$ при гомогенном зародышеобразовании (рис.2): мелкая структура α -твердого раствора литой бронзы – $a_{жТ} = 1,252$ (рис.2, а), значительно крупнее структура сурьмы в литом баббите – $a_{жТ} = 1,595$ (рис.2, б), кристаллы Si в эвтектических силуминах – длинные иглы, в заэвтектических силуминах кристаллы Si имеют размеры более 0,2 мм – $a_{жТ} = 2,3$ (рис.3, а; 4, а). Игольчатая и крупнозернистая структура резко снижает пластичность отливок, для ее повышения структуру измельчают путем модифицирования (рис.3, б и 4, б).

Таким образом, сделан прогноз параметров гомогенного зародышеобразования кремния и алюминия ($a_{жТ}$), по величине кристаллизационной активности компонента сплава можно определить необходимость модифицирования отливок.

Список литературы

1. Ларионов А.Я. Мера метастабильности переохлажденных жидких металлов // Металлы. – 2000, № 5, с. 54–55.
2. Эллиот Р. Управление эвтектическим затвердеванием: Пер. с англ./ Под ред. Л.С. Швиндлермана. – М.: Металлургия, 1987. – 63 с.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48

А.С.Нурадинов (Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев),
 Е.Д.Таранов (Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев),
 А.С.Эльдарханов (Научный центр «Новейшие материалы и технологии», Москва)

Влияние внешнего давления на параметры затвердевания слитка

Формирование основных параметров кристаллической структуры слитка зависит от интенсивности передачи теплоты перегрева и кристаллизации металла к стенке изложницы. При этом к основным факторам, влияющим на макроструктуру слитка, относятся плотность затвердевшей корки и продолжительность ее контакта с теплоотводящей поверхностью, а также интенсивность теплопередачи. Эти три параметра зависят от давления на корку и от ее прочности при высокой температуре.

Влияние давления P на интенсивность теплоотвода q от затвердевающего объема металла может быть описано уравнением [1]:

$$q = A\lambda (P/E)^n (t_1 - t_2), \quad (1)$$

где A – геометрический параметр, учитывающий неровности на контактной поверхности; λ , E – теплопроводность и модуль упругости материала корки; n – коэффициент, равный 0,4–0,5; t_1 , t_2 – температуры соприкасающихся поверхностей.

Согласно данным [2], в ряд основных параметров введен коэффициент теплопередачи α :

$$q = \alpha (t_1 - t_2); \alpha = 2,1 \cdot 10^{-4} P \lambda_{\text{эф}} / 3\sigma, \quad (2)$$

где $\lambda_{\text{эф}}$ – эффективный коэффициент теплопроводности: $\lambda_{\text{эф}} = \lambda_{\text{и}} \cdot \lambda_{\text{с}} / (\lambda_{\text{и}} + \lambda_{\text{с}})$; $\lambda_{\text{и}}$, $\lambda_{\text{с}}$ – коэффициенты теплопроводности материала изложницы и стальной корки; P – давление на корку; σ – напряжение в затвердевшей корке.

С ростом давления α возрастает до определенной величины, характерной для каждого заданного давления. Установлено, что существенное увеличение коэффициента α отмечается при возрастании давления от атмосферного до 50–100 МПа, а при давлении выше 100 МПа он возрастает менее интенсивно [3]. Это обусловлено тем, что при увеличении давления до 100 МПа корка прижимается к стенкам изложницы и устраняется зазор между слитком и изложницей. По данным [4], продолжительность контактного теплообмена не увеличивается при $P = 0,1$ –25 МПа, но его интенсивность за весь период затвердевания увеличивается в среднем в 2,5–3,5 раза.

С повышением давления (при прочих равных условиях) структура слитков изменяется, особенно в области давлений от атмосферного до 100–150 МПа. В случае затвердевания слитка под давлением в нем создается значительный температурный градиент в сочетании с повышенной скоростью отвода теплоты перегрева и кристаллизации. В результате сокраща-

ется время местной кристаллизации, замедляются диффузионные процессы в слитке, что приводит к уменьшению размеров зерен. Средний размер зерна уменьшается не только из-за изменения условий теплообмена и термодинамических параметров кристаллизации, но и в результате частичного разрушения растущих осей дендритов давлением, что создает дополнительное количество мелких кристаллов в верхних и центральных зонах слитка (отливки) [5]. Вместе с тем, имеются данные [6] о том, что микроструктура сталей 20Л и 35Л в слитках ($D = 70$ мм, $H/D = 4$) при давлении 200 МПа как в поверхностной, так и в центральной зонах практически не изменяется. При этом не наблюдали и уменьшения перепада температуры по сечению слитка [5].

Анализ приведенных данных свидетельствует о некоторых разногласиях исследователей по вопросу влияния давления на перепад температур по сечению отливки и на процесс формирования ее кристаллической структуры. В связи с этим были проведены эксперименты по изучению влияния внешнего давления на распределение температур по сечению модельного слитка и кинетику его затвердевания.

Эксперименты проводили на термостатируемой физической модели плоского слитка (рис. 1), к которой через патрубок присоединяли компрессор для со-

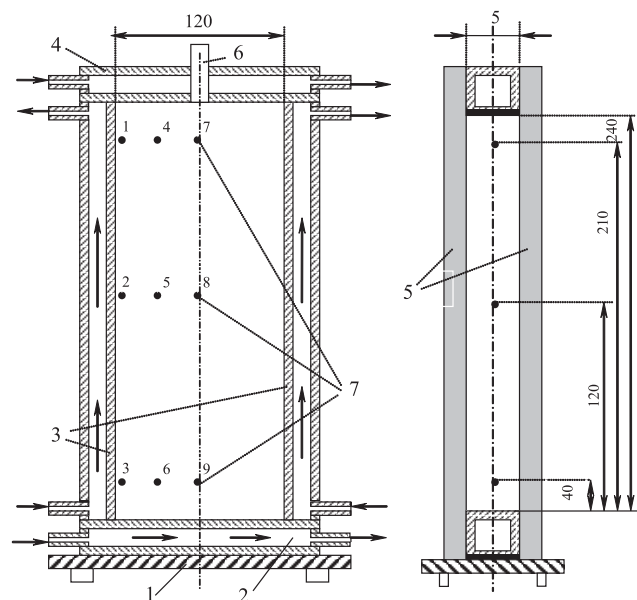


Рис. 1. Плоская модель для изучения процессов кристаллизации и структурообразования слитков: 1 – основание; 2 – поддон; 3 – боковые грани; 4 – крышка; 5 – прозрачные грани; 6 – патрубок для создания давления; 7 – термопары

здания внешнего давления, термометрию осуществляли с помощью вмонтированных в модель девяти хромель-алюмелевых термопар. В качестве моделирующей среды использовали технический камфен, кристаллизующийся по типу металлических расплавов. Прозрачные широкие грани модели позволяли четко наблюдать зарождение и рост кристаллов, продвижение фронта кристаллизации, а также измерять параметры кристаллизации и фотографировать процесс формирования структуры слитка.

Эксперименты проводили в следующей последовательности: расплав камфена заливали в модель при температуре 47 °С ($t_n = 45\text{ °С}$), что соответствовало температуре разливки стали (согласно температурному масштабу); затем накладывали на поверхность расплава давление в 50, 100 и 150 кПа и осуществляли охлаждение модели проточной водой. С интервалом в 2 мин снимали с цифрового потенциометра показания термопар и измеряли скорости продвижения фронта кристаллизации и роста отдельных дендритов в объеме расплава.

Экспериментальные данные показали, что давление в указанных пределах слабо влияет на характер распределения температур по сечению и высоте слитка, а также на кинетику продвижения и конфигурацию фронта затвердевания. Вместе с тем можно отметить некоторые особенности изменения указанных факторов под воздействием давления.

Наложение давления на затвердевающий расплав приводит к снижению уровня температур расплава по сечению слитка на всех горизонтах. При этом наибольшее снижение получено при давлении 50 кПа и наименьшее – при 150 кПа. Что касается кинетики продвижения фронта кристаллизации, то она существенно изменилась лишь при давлении 150 кПа. Остановимся подробнее на особенностях, рассмотрев в качестве примера сечение слитка на среднем горизонте.

Измерение параметров затвердевания (температура–время) показало, что время охлаждения слитка при кристаллизации под давлением 50–100 кПа меньше, чем при свободной кристаллизации, особенно в зонах интенсивного теплоотвода. Это подтверждается кривыми распределения температур по сечению слитка (рассматривалась температура в четырех точках сечения) в процессе охлаждения без давления и под давлением (рис. 2). Эффект давления обусловлен увеличением интенсивности теплообмена между слитком и охлаждаемой стенкой модели за счет более длительного плотного контакта между ними и повышением коэффициента теплоотдачи расплава, что подтверждается более интенсивным снижением температуры расплава в центре слитка. Давление в 150 кПа уже практически не влияет на интенсивность теплообмена, но, вследствие существенно возросшего темпа затвердевания, увеличивается количество выделяемой теплоты кристаллизации. В условиях постоянного теплоотвода это приводит к повышению уровня температуры расплава по сечению слитка по сравнению с давлением 50 и 100 кПа.

Процесс кристаллизации начинается с возникновения в жидкой фазе центров кристаллизации и последующего их роста. Кинетику фазового превращения можно оценить двумя параметрами: числом центров кристаллизации, возникающих в единице объема за единицу времени, и линейной скоростью роста кристаллов. Число центров кристаллизации будет зависеть от критического размера зародыша (r_c) и работы (A_k), необходимой для его образования. Зависимость этих параметров кристаллизации от давления имеет следующий вид [7]:

$$r_c = 2\sigma/\rho(V_2 - V_1)dP; \quad (3)$$

$$A_k = 32\sigma^3[dt/\rho \cdot \Delta t(V_2 - V_1)dP]^2, \quad (4)$$

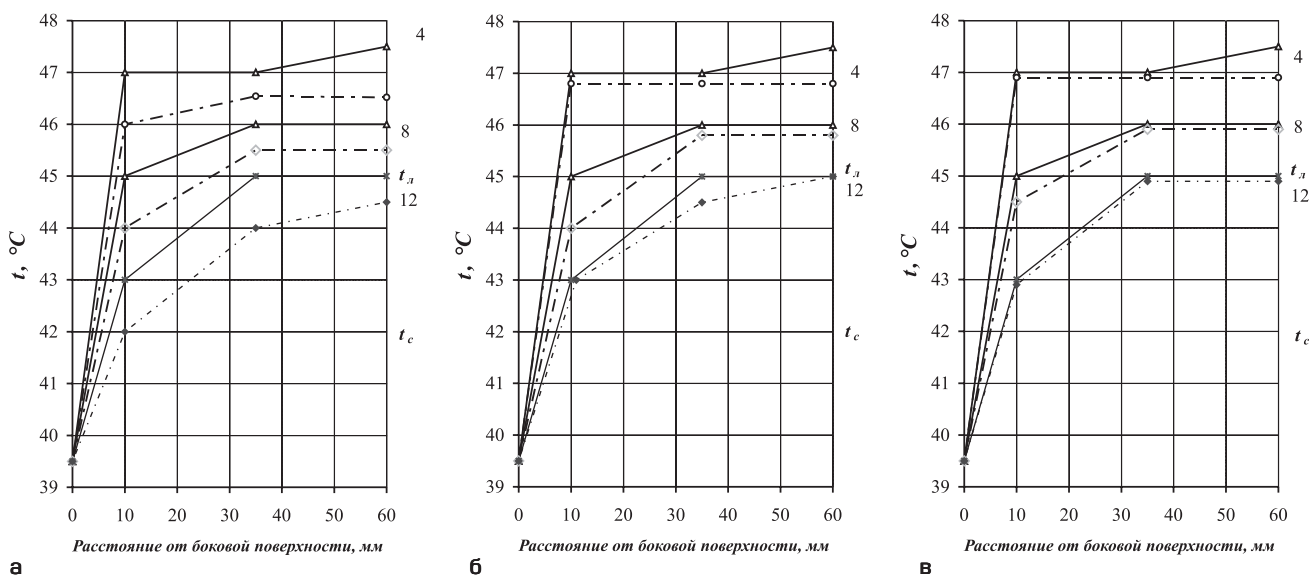


Рис. 2. Распределение температур по сечению слитка камфена на среднем горизонте: сплошная линия – свободная кристаллизация; пунктирная линия – кристаллизация под давлением, где $P_{\text{вн}} = 50$ (а), 100 (б), 150 (в) кПа, цифры 4, 8, 12 – время от начала кристаллизации, мин

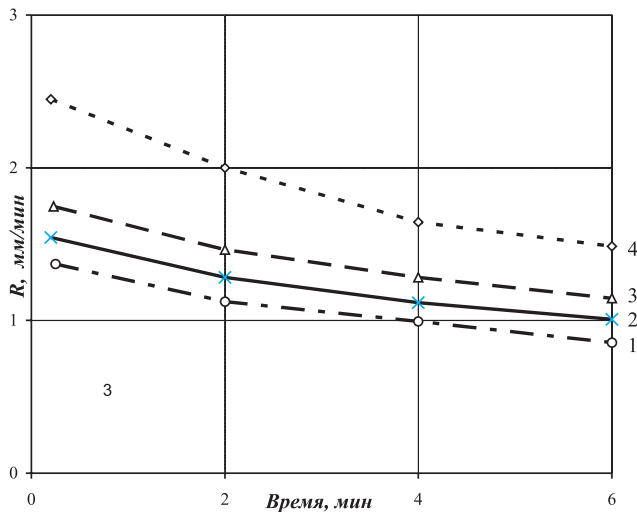


Рис. 3. Влияние давления на скорость кристаллизации, где $P_{вн.} = 0$ (1), 50 (2), 100 (3), 150 (4) кПа

где σ – поверхностное натяжение расплава на грани кристаллика; dt – повышение температуры расплава за счет выделения теплоты образования зародыша; ρ – плотность вещества; Δt – переохлаждение расплава, при котором произошло зарождение центра кристаллизации; dP – повышение внешнего давления; $V_2 - V_1$ – разность между объемами твердой и жидкой фаз.

Из (3) и (4) видно, что уменьшение критического размера зародыша и работы его образования, а следовательно, и увеличение числа центров кристаллизации может быть достигнуто не только за счет снижения поверхностного натяжения на границе «расплав-кристалл» и увеличения переохлаждения, но и увеличения прикладываемого внешнего давления.

В связи с тем, что камфен кристаллизуется практически без переохлаждения, а поверхностное натяжение зависит, главным образом, от природы расплава, то увеличение числа центров кристаллизации будет определяться в основном величиной внешнего давления на расплав.

На рис. 3 приведены экспериментальные данные влияния давления на скорость кристаллизации расплава, зависящую от интенсивности роста числа центров кристаллизации в условиях постоянной интенсивности теплоотвода. Видно, что внешнее давление в 50 кПа (кр. 2) и 100 кПа (кр. 3) мало влияют на скорость кристаллизации расплава и только под давлением 150 кПа скорость кристаллизации заметно возрастает (кр. 4). Видимо, этого давления уже достаточно для заметного снижения критического размера зародыша кристалла и работы его образования (3) и (4) и увеличения, тем самым, числа центров кристаллизации в расплаве на протяжении всего времени затвердевания слитка.

О влиянии давления на процесс кристаллизации расплава свидетельствует и фактор изменения скорости формирования дендрита в различных зонах слитка, установленный непосредственным измерением роста его осей во времени. Так, при наложении давления в пределах 100–150 кПа на затвердевающий слиток

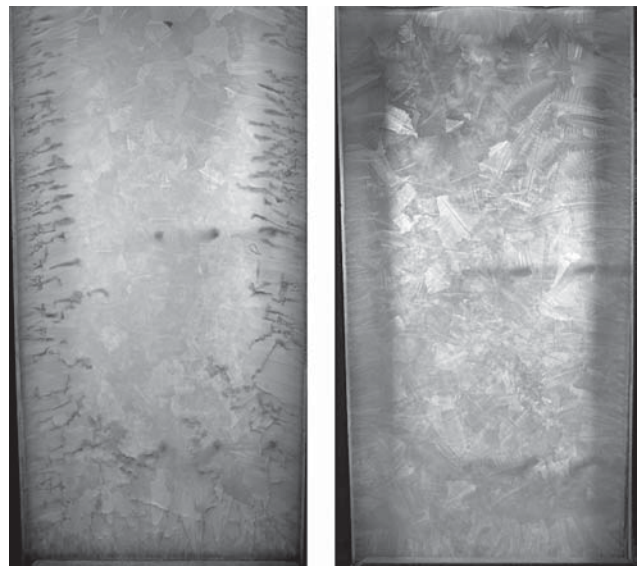


Рис. 4. Кристаллическое строение обычного (а) и опытного (б) слитков

скорость роста первичных и вторичных осей, формирующихся в объеме расплава дендритов, составила в среднем 12 и 5,5 мм/мин, соответственно, вместо скорости роста осей дендритов 8 и 4 мм/мин в случае свободной кристаллизации. Давление практически не влияет на форму растущих дендритов и параметры двухфазной зоны, что хорошо видно на формирующихся слитках в одинаковый период кристаллизации (рис. 4).

Наложение внешнего давления в пределах 50–150 кПа мало влияет на кристаллическое строение слитка. Как в случае свободной кристаллизации (рис. 4, а), так и в случае кристаллизации под давлением (рис. 4, б) структура слитка состоит из периферийных зон столбчатых кристаллов и центральной зоны равноосных кристаллов. Параметры этих зон примерно одинаковы. Различие состоит лишь в отсутствии ликвационных полос в структуре слитка, закристаллизованного под давлением.

Вместе с тем, избыточное давление способствует более эффективному проникновению расплава в зону двухфазного состояния затвердевающего слитка [3]. Количество жидкости, профильтровавшей через зону двухфазного состояния слитка, определяют по закону Дарси:

$$Q = K \frac{F}{L} \Delta P, \quad (5)$$

где K – коэффициент проницаемости полужатвердевшего каркаса сплава; F – площадь поперечного сечения слитка; L – протяженность зоны двухфазного состояния сплава, ΔP – перепад давления.

Видно, что чем выше внешнее давление (при практически одинаковой протяженности двухфазной зоны), тем больше жидкости будет проникать в образующиеся усадочные поры и обеспечивать необходимую плотность структуры слитка. Опыты на модельных слитках подтвердили справедливость этого положения.

Таким образом, при наложении внешнего давления в пределах 100–150 кПа на затвердевающий слиток в 2 раза (против обычного) возрастает скорость роста первичных и вторичных осей дендритов, формирующихся в объеме расплава. Давление в указанных пределах практически не влияет на форму растущих дендритов и параметры двухфазной зоны, а также слабо влияет на кристаллическое строение слитка. Что касается распределения температур по сечению слитка, то максимальный эффект отмечен при внешнем давлении 50 КПа, так как более высокое давление (100 и особенно 150 кПа) уже мало влияет на интенсивность теплоотвода, но вследствие возросшего темпа кристаллизации количество выделяемой теплоты повышает количество отводимой теплоты в условиях постоянного теплоотвода. Указанными факторами можно объяснить разноречивые данные по влиянию давления на температурные и структурные параметры затвердевающих заготовок.

Список литературы

1. **Кокарев Л.С., Харитонов В.В.** Теплогидравлические расчеты и оптимизация ядерных и энергетических установок. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 246 с.
2. **Исследование непрерывной разливки стали.** Пер. с англ. Под ред. В.В.Фульмахта. – М.: Металлургия, 1982. – 195 с.
3. **Батышев А.И., Беспалько В.И., Любавин А.С. и др.** Литье с кристаллизацией под давлением / Машиностроительное производство. Сер. Технология и оборудование литейного производства: Обзорная информация. / ВНИИТЭМР: Вып. 1. – М.: 1980. – 56 с.
4. **Таранов Е.Д., Ефимов В.А., Примак И.Н. и др.** Кристаллизация и структурообразование стальных отливок под давлением // Процессы литья. – 1997. – № 1. – С. 32–41.
5. **Batyshev A.I.** Giessen mit Erstaning unzer Druch // Giessereitechnik. – 1985. – № 9. – С. 281–286.
6. **Гуляев Б.Б., Макельский М.Ф., Назаренко В.О.** Кристаллизация стали под поршневым давлением // Литейное производство. – 1960. – № 12. – С. 33–35.
7. **Батышев А.И.** Кристаллизация металлов и сплавов под давлением. – М.: Металлургия, 1977. – 152 с.

В.Б. Деев (канд.техн.наук, ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»)

Получение литейных алюминиевых сплавов в различных плавильных агрегатах

Существенное значение на качество получаемых сплавов оказывает используемый плавильный агрегат. Плавильная печь должна обеспечивать получение сплава, однородного по химическому составу с минимальным увеличением содержания газов и неметаллических включений в металле во время плавки.

В последнее время широкое распространение при плавке литейных алюминиевых сплавов для отливок приобретает термовременная обработка (ТВО), заклю-

чающаяся в высокотемпературном перегреве расплава и изотермической выдержке при этой температуре.

Однако при высокотемпературном перегреве в расплавах на основе алюминия значительно увеличивается растворимость водорода, что приводит к повышенному газосодержанию в слитках и отливках. Например, с увеличением температуры расплава с 680 до 980 °С растворимость водорода в алюминии повышается в 6 раз, коэффициент массопереноса водоро-

Таблица 1. Химический состав сплавов АК7 и АК5М2, полученных в различных плавильных агрегатах

Плавильный агрегат	Содержание компонентов, %					
	Si	Mg	Mn	Cu	Ti	Fe
<i>Сплав АК7</i>						
ИСТ-0,06	7,4	0,40	0,47	–	–	0,79
«Колеман»	7,3	0,35	0,39	–	–	0,81
СШОЛ	7,0	0,33	0,42	–	–	0,85
<i>Сплав АК5М2</i>						
ИСТ-0,06	5,8	0,61	0,58	2,7	0,14	0,74
«Колеман»	5,6	0,53	0,54	2,4	0,09	0,73
СШОЛ	5,5	0,53	0,50	2,3	0,11	0,80

Таблица 2. Влияние плавильного агрегата на механические свойства и жидкотекучесть вторичных алюминиевых сплавов

Плавильный агрегат	Сплав*					
	АК7			АК5М2		
	σ_B , МПа	δ , %	l , %	σ_B , МПа	δ , %	l , %
ИСТ-0,06	$\frac{170}{182}$	$\frac{0,9}{1,1}$	$\frac{94}{112}$	$\frac{180}{198}$	$\frac{0,7}{1,0}$	$\frac{91}{110}$
«Колеман»	$\frac{167}{174}$	$\frac{0,7}{0,9}$	$\frac{90}{104}$	$\frac{172}{185}$	$\frac{0,5}{0,7}$	$\frac{90}{100}$
СШОЛ	$\frac{162}{172}$	$\frac{0,6}{0,8}$	$\frac{88}{100}$	$\frac{168}{176}$	$\frac{0,5}{0,6}$	$\frac{87}{96}$

* В числителе – свойства исходного сплава, в знаменателе – свойства после ТВО.

да в алюминиевых сплавах при этом возрастает в 2 и более раз [1]. Поэтому применение высокотемпературных перегревов обязательно должно сопровождаться эффективной дегазацией и рафинированием расплава [2, 3].

Однако, несмотря на повышение величины перегрева расплава в процессе плавки и применяемые средства дегазации и рафинирования, различный плавильный агрегат также может оказывать определенное воздействие на свойства получаемых сплавов.

В данной работе исследовали влияние типа плавильного агрегата на свойства вторичных алюминиевых сплавов АК7 и АК5М2. Сплавы готовили из чушек аналогичного состава в печи сопротивления типа СШОЛ, индукционной печи ИСТ-0,06 и тигельной газовой типа «Колеман». Для получения сопоставимых результатов температурные режимы плавки и перегрева для конкретного сплава в этих печах были одинаковыми. Расплавы рафинировали гексахлорэтаном. Температура заливки составляла 700–730 °С. Режимы ТВО: для сплава АК7 – выдержка 5–7 мин при температуре 970–1000 °С, для сплава АК5М2 – выдержка 5–7 мин при температуре 900–950 °С. Химический состав полученных сплавов в зависимости от используемого плавильного агрегата приведен в табл. 1. Механические свойства определяли в соответствии с ГОСТ 1583–93, жидкотекучесть – по кокильной прутковой пробе. Значения жидкотекучести (l) и механических свойств (σ_B , δ) исходных и обработанных сплавов приведены в табл. 2.

Экспериментальные данные, приведенные в табл. 1 и 2, показывают, что максимальные механические свойства имеют сплавы, полученные в печи ИСТ-0,06, минимальные – в печи СШОЛ. Что касается жидкотекучести, то повышенное ее значение наблюдается у сплавов АК7 и АК5М2, полученных в печи ИСТ-0,06, по сравнению со сплавами, полученными в печах «Колеман» и СШОЛ.

Печь сопротивления типа СШОЛ уступает печи ИСТ-0,06 по возможности получения высоких механических свойств и жидкотекучести. ТВО способство-

вала заметному увеличению у сплавов этих характеристик, причем у полученного в печи СШОЛ сплава АК7 механические свойства и жидкотекучесть имеют почти такой же уровень, как у сплава АК7, полученного в печи «Колеман».

Эффективность проведения ТВО в печах индукционного нагрева (например, ИСТ и ИАТ) связано с интенсификацией движения расплава под действием переменных электромагнитных полей, что приводит к увеличению скоростей массопереноса и гомогенизации расплава при перегревах по сравнению с печами простого электронагрева типа СШОЛ.

Следует учитывать, что при выборе типа печи для получения сплавов главными моментами являются ее производительность, угар металла, затраты топлива, энергии, рабочей силы и др. [4–6].

Приведенные выше данные свидетельствуют, что на свойства получаемых литейных сплавов оказывают влияние не только температурные режимы плавки, индивидуальные для каждого конкретного сплава, но и тип используемого плавильного агрегата.

Список литературы

- Чернега Д.Ф., Бялик О.М., Иванчук Д.Ф., Ремизов Г.А. Газы в цветных металлах и сплавах. – М.: Металлургия, 1982. – 176 с.
- Найдек В.Л., Наривский А.В. Влияние способа обработки расплава на структуру и свойства алюминиевых сплавов // Литейное производство. – 2003. – № 9. – С. 2–3.
- Деев В.Б. Получение герметичных алюминиевых сплавов из вторичных материалов. – М.: Флинта: Наука, 2006. – 218 с.
- Андреев А.Д., Гогин В.Б., Макаров Г.С. Высокопроизводительная плавка алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия, 1980. – 136 с.
- Воздвиженский В.М., Грачев В.А., Спасский В.В. Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1984. – 432 с.
- Королев С.П., Задруцкий С.П., Немененок Б.М. и др. Концепция модульных технологий получения качественных отливок из алюминиевых сплавов // Литейное производство. – 2002. – № 8. – С. 14–17.

Владимир Леонидович Крохотин

(к 75-летию со дня рождения)

18 января исполняется 75 лет со дня рождения известного в широких кругах литейщиков генерального директора фирмы «Индуктор», президента клуба начальников цехов ОАО «Северсталь», лауреата премии Совмина СССР и премии им. академика Бардина, кавалера ордена «Знак Почета» и ордена «Почета», Заслуженного металлурга РФ, члена исполкома Российской ассоциации литейщиков, члена Редакционно-издательского совета журнала «Литейщик России» **Владимира Леонидовича Крохотина.**

В.Л. Крохотин в 1957 г. после окончания Липецкого горно-металлургического техникума был направлен на Череповецкий металлургический завод, с которым он связал весь свой трудовой путь, начиная от формовщика, мастера, старшего мастера, заместителя начальника цеха по производству до начальника лучшего литейного цеха Минчермета СССР и России. Его трудовая книжка имеет одну единственную запись о приеме на Череповецкий металлургический завод с изменениями только в занимаемых должностях и названиях предприятия (ЧерМЗ, ЧерМК, ОАО «Северсталь»).

Свою ответственную и успешную работу Владимир Леонидович совмещал с постоянным повышением профессионального образования, в том числе в Ленинградском СЗПИ, который он окончил в 1967 г. Возглавляемый им в течение 36 лет литейный цех ЧерМК, который стал флагманом среди аналогичных цехов металлургической отрасли, по праву был признан школой передового опыта развития литейной технологии, автоматизации, механизации и организации производства, уровня соцкультбыта, производственной санитарии и безопасности труда.

В цехе, первые в Минчермете, были успешно освоены жидконаливные, химически твердеющие смеси, плавка металла в индукционных печах вместо традиционной ваграночной, внедрены методы рационального проектирования и изготовления оснастки для всех видов отливок, в том числе для кокильного и цветного литья, внедрен метод единого подряда и сквозного планирования производства и другие новшества.

Владимира Леонидовича отличало понимание необходимости постоянного сотрудничества с научными организациями и учеными страны для совместной работы по улучшению производства, при непосредственном участии начальника цеха в качестве руководителя проектов, а также всех служб цеха как единого целого в достижении поставленной цели. Комплекс работ, выполненных в цехе под руководством Владимира Леонидовича, привел к созданию цеха на уровне мировых стандартов для металлургической отрасли. Поэтому вполне закономерно, что в 1987 г. ему, как руководителю проекта, была присуждена премия Совета Министров СССР за реконструкцию, техническое перевооружение, с внедрением индукционной плавки, фасонно-литейного цеха в условиях действующего производства.

В своей работе В.Л. Крохотин руководствовался требовательным и уважительным отношением к сотрудни-



кам цеха, которых он считал главной ценностью предприятия.

Лично В.Л. Крохотин как заслуженный рационализатор РФ, автор более 30 изобретений внес значительный вклад в производство на заводах металлургической отрасли литых шихтовых заготовок, технологий производства крупных отливок из высокопрочного чугуна, холодильников доменных печей и других запасных частей для металлургического производства.

Во все периоды своей деятельности, несмотря на производственную занятость, Владимир Леонидович постоянно и активно участвует в общественной деятельности, являясь членом исполкома Российской ассоциации литейщиков, председателем Вологодского областного регионального отделения РАЛ, членом Редакционно-издательского совета журнала «Литейщик России», активным участником съездов, семинаров РАЛ.

Коллективы ОАО «Северсталь» и ООО «Индуктор», исполком Российской ассоциации литейщиков, Редакционно-издательский совет журнала «Литейщик России», многочисленные друзья, литейщики всей России, коллеги сердечно поздравляют Владимира Леонидовича с юбилеем и желают здоровья, счастья, успехов в плодотворной деятельности на долгие годы!

Серафим Васильевич Колпаков

(к 75-летию со дня рождения)

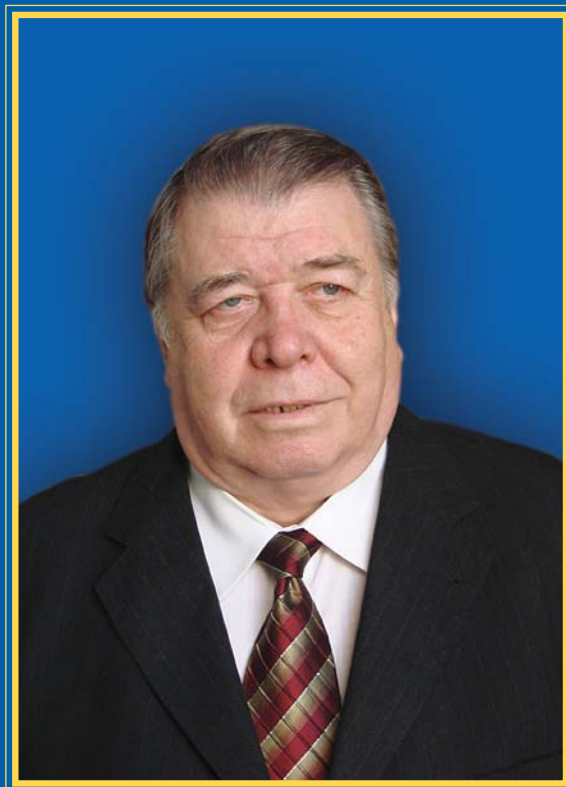
Президенту Международного союза металлургов, главному редактору журнала «Сталь» **Серафиму Васильевичу Колпакову** исполнилось 75 лет.

По окончании в 1951 г. Липецкого горно-металлургического техникума С.В.Колпаков работал на Ашинском металлургическом, а затем на Липецком тракторном заводах. Был бригадиром, мастером, старшим мастером, технологом, начальником отделения, заместителем начальника цеха. В 1954–1957 гг. служил в армии. После демобилизации Серафим Васильевич окончил вечерний факультет Московского института стали и сплавов и перешел на строящийся комплекс кислородно-конвертерного цеха Новолипецкого металлургического завода. На этом предприятии он работал мастером, начальником смены, начальником цеха, 8 лет был директором этого предприятия, которое развивалось как уникальный комплекс, где впервые в мире вся сталь разливалась только на машинах непрерывного литья, вводились в действие самые современные металлургические агрегаты на других переделах.

В 1978 г. С.В.Колпаков был назначен заместителем министра черной металлургии СССР, в 1981 г. — первым заместителем министра, в 1985 г. — министром черной металлургии СССР, в 1989 – 1991 гг. возглавлял объединенное Министерство металлургии СССР.

В производственной и научной деятельности Серафима Васильевича отличают целеустремленность, большая организаторская активность, смелость подхода к сложным вопросам, способность решать их нетрадиционными способами. Эти качества особенно проявились в период руководства отраслью, когда удалось преодолеть многолетнее отставание железорудной промышленности, осуществить программу восстановления коксовых батарей оригинальным отечественным способом, развернуть работу по техническому перевооружению металлургии путем реконструкции действующих и строительства новых мощностей, обеспечивающих резкое улучшение качества металла, что позволило разработать и успешно начать реализацию Государственной программы снижения металлоемкости производства.

С.В.Колпаков внес значительный вклад в развитие металлургической науки. С его непосредственным участием разработаны принципиально новые аспекты технологии кислородно-конвертерного процесса с непрерывной разливкой и внепечного рафинирования стали. Впоследствии они стали основой его докторской диссертации. По существу, он стоял у истоков создания современной мировой технологии выплавки и разливки стали и оказал большое влияние на ее развитие. Он является профессором Московского государственного института стали и сплавов, членом



ученого совета Института металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова, вице-президентом Российской инженерной академии. Им опубликовано около 400 научно-технических работ, получено более 300 авторских свидетельств.

Возглавляемый С.В.Колпаковым Международный союз металлургов признан специалистами отрасли, государственными и региональными управленческими органами как крупное общественное объединение, осуществляющее консолидацию металлургов, способное проводить квалифицированный анализ происходящих в отрасли процессов.

За большой вклад в развитие отечественной металлургии С. В. Колпаков награжден орденом Октябрьской революции, двумя орденами Трудового Красного Знамени, медалями, ему присвоено звание «Заслуженный металлург РСФСР», дважды присуждались Государственные премии СССР и дважды — премии Совета Министров СССР.

Исполком Российской ассоциации литейщиков, Редакционно-издательский совет журнала, коллеги и друзья сердечно поздравляют Серафима Васильевича с юбилеем, желают крепкого здоровья и творческих успехов!

В рамках ПЕТЕРБУРГСКОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЯРМАРКИ

При поддержке:

Минпромэнерго России,
Правительства Санкт-Петербурга,
Представительства Федерального агентства
по промышленности в Северо-Западном
федеральном округе,
Российского союза промышленников
и предпринимателей,
Торгово-промышленной палаты России,
Российской ассоциации литейщиков,
Союза промышленников и предпринимателей
(работодателей) Санкт-Петербурга,
Торгово-промышленной палаты Санкт-Петербурга,
Союза литейщиков Санкт-Петербурга
под патронажем
Торгово-промышленной палаты России.



X международная
специализированная выставка

МЕТАЛЛУРГИЯ

- Добыча, обогащение и переработка сырья для черной и цветной металлургии
- Черная и цветная металлургия. Производство металлов и сплавов
Производство чугуна, выплавка стали, ферросплавы, огнеупоры, переработка вторичных металлсодержащих ресурсов, экологические аспекты
- Готовая продукция. Производство и торговля Заготовки. Прокат из черных и цветных металлов: трубы, проволока, листы, профиль и др. Метизы. Электроды. Металлоизделия
- Оборудование. Технологии
Оборудование для металлургических производств, оснастка, новые материалы, контрольно-измерительная аппаратура, высокие технологии металлургических производств
- Порошковая металлургия
- Сертификация металлургической продукции
- ТНП из металла
- Подготовка специалистов для металлургических производств



VIII международная
специализированная выставка

ЛИТЕЙНОЕ ДЕЛО

- Технология и оборудование для изготовления форм и стержней
- Технология и оборудование для литья под давлением
- Технология и оборудование для точного литья
- Формовочные материалы, технология и оборудование для их подготовки, регенерация формовочных смесей
- Оборудование для модифицирования литейных сплавов, дозирования и заливки литейных форм
- Модельное производство
- Техника измерений
- Печи для термической обработки отливок
- САПР и моделирование литейных процессов
- Готовая продукция, приборы, комплектующие, отливки
- Художественное литье



Организатор:



Тел.: (812) 320-8092, 303-8868

Факс: (812) 320-8090

E-mail: metal@restec.ru

www.ptfair.ru

ООО "ЭВОЛЮТА"

КАЧЕСТВО . ГАРАНТИИ . НИЗКИЕ ЦЕНЫ



ПЛАВИЛЬНЫЕ ПЕЧИ Б/У: ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ И INDUCTOTHERM CORP. (США) ПОСТАВКА СЕРВИС ЗАПЧАСТИ

Продаем б/у индукционные и дуговые плавильные печи, производим пуско-наладочные работы. Имеются в наличии печи Inductotherm Corp. (США) типа VIP Power Trak, Dual Trak объемом от 500 до 6000 кг, а также отечественные печи типа ИСТ, ИЧТ, ИАТ, ДСП

www.evoluta.ru

e-mail: evoluta@aha.ru

Тел.: (495) 789-57-81, 796-09-18, Тел./факс: (495) 780-63-85 (многоканальный)

На ООО «Оргсинтез», при участии ОАО «НИИЛИТМАШ», организовано производство отвердителя жидкого литейного марки ОЖЛ-75, раствора бензолсульфокислоты (БСК) ТУ2471-004-77057039-2006.

Отвердитель обеспечивает быстрое отверждение ХТС в холодной оснастке и высокую прочность стержней и форм при минимальных расходах смол ФФ-65С, КФ-65С.

По каталитической активности предлагаемый отвердитель не уступает лучшим образцам импортных отвердителей фирм «Хюттенес-Альбертус» (Германия), «ФОСЕКО» (Англия) и др.

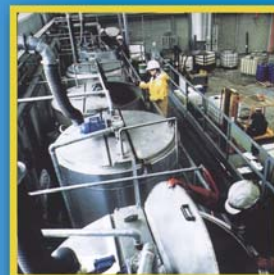
Благодаря специальной добавке температура замерзания отвердителя находится ниже -30°C , что делает его удобным для применения в зимнее время.

Упаковка отвердителя производится в бочки из высокоплотного полиэтилена вместимостью от 50 до 200 литров.

Поставка самовывозом, возможна доставка.

301653, г. Новомосковск, Тульская обл., Комсомольское шоссе, 72.

Тел.: (48762) 2-11-73, 2-11-72, факс: (48762) 2-11-86.





ФРАКТУМ - Мировой лидер в разрушении

Разбивает любые материалы в удобном для вас месте и в любое время
Молот, созданный для работы в металлургическом производстве



- Разрушение шлаков, чугуна и стали
- Альтернатива использованию падающих грузов
- Значительное сокращение издержек
- Легкость в эксплуатации
- Высокая производительность
- Безопасность



ФРАКТУМ

Когда разрушение - это бизнес