М352785

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ им. Н.Э. БАУМАНА

На правах рукописи

ДЁМИН Игорь Михайлович

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫБОРА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЬЯ ОЛОВЯННЫХ БРОНЗ В КОКИЛЬ.

05.16.04 – Литейное производство

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва 1979

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ им. Н.Э. БАУМАНА

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана
1352785
Демин И.М. Научно-методиче

На правах рукописи

ДЁМИН Игорь Михайлович

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫБОРА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЬЯ ОЛОВЯННЫХ БРОНЗ В КОКИЛЬ.

05.16.04 – Литейное производство

М352 Х85

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва 1979

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э. Баумана и Щелковском насосном заводе.

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор ДУБИНИН Н.П.

Научный консультант: кандидат технических наук,
доцент ВАСИЛЬЕВ В.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор ЧУРСИН В.М.

кандидат технических наук,
КАМИНСКИЙ А.М.

Ведущее предприятие – Калужский машиностроительный завод.

Защита диссертации состоится " " _____ 1979 г. на заседании Специализированного Ученого Совета по машинам и технологии горячей обработки металлов Д 053.15.05 Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища имени Н.Э. Баумана по адресу: 107005, Москва Б-5, 2-я Бауманская ул., 5.

Ваши отзывы на автореферат в 2-х экз., заверенные печатью, просим направлять по указанному адресу.

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

Автореферат разослан " " _____1979 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО СОВЕТА
доктор технических наук, профессор Степанов Ю.А.

Подписано к печ. Л 77003 от 16.04.79 г.
Зак. 605 Тир. 100 экз. Объём 1 п.л. Тип. МВТУ

МВТУ
им. Н. Э. Баумана
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. Основной задачей, поставленной в десятой пятилетке перед отечественной промышленностью XXУ съездом КПСС, является повышение качества выпускаемой продукции и эффективности производства. Одним из путей решения этой задачи в области литейного производства является совершенствование и развитие прогрессивного метода литья в металлические формы (кокили). В СССР постоянно возрастает выпуск цветных металлов и по темпам их роста наша страна занимает ведущее место в мире. Широко применяющиеся в судостроении, общем и химическом машиностроении, электротехнике, криогенной технике, космических аппаратах и других новых областях техники изделия из медных сплавов относят к дефицитным и дорогостоящим материалам. Стоимость единицы массы и объема конструкции из оловянных бронз, отличающихся высокой прочностью, антифрикционностью и коррозийной стойкостью, является наиболее высокой из распространенных литейных сплавов на медной основе. Синтез конструкционных материалов, в частности для оловянных бронз с заранее заданными свойствами в изделиях, невозможен без изучения влияния легирующих компонентов в бронзах и особенностей теплового режима при литье в кокиль. Поэтому вопросы экономного расходования бронз и разработка рациональной технологии их производства имеют важное народно-хозяйственное значение.

Целью работы является выявление и количественная оценка влияния основных элементов в оловянных бронзах и их сочетаний на важнейшие механические свойства для реализации возможности заранее прогнозировать эксплуатационные свойства кокильных отливок. Кроме того, расширение области применения кокильного литья для получения прочных и плотных отливок из бронз и рациональный расход дефицитных металлов повышают качество продукции и эффективность производства.

Основными научными задачами в соответствии с поставленной целью явились:

- исследование механизма упрочнения и разупрочнения оловянных бронз при кокильном литье;
- выявление и количественная оценка влияния основных компонентов бронз и их сочетаний на важнейшие механические свойства кокильных отливок;

– установление закономерностей развития ликвации в оловянных бронзах в зависимости от состава и условий кристаллизации.

Методы исследований, используемые в работе, включали как стандартные (металлографические, физические методы исследований и т.д.), а также оригинальные. Решение поставленных задач осуществляли на современном оборудовании для химических, спектральных и микрорентгеноспектральных анализов бронз, а также на специально созданных оригинальных установках для проведения микроспектральных исследований бронз и анализа в них газов. Для обработки результатов экспериментов, привлекали методы математической статистики, корелляционный и регрессионный анализ, методы математического планирования эксперимента.

Научная новизна. Установлен механизм влияния отдельных компонентов оловянных бронз на их структуру и механические свойства в кокильных отливках. Выявлено и количественно оценено влияние Sn, Pb, Zn, Ni, P, Al и их сочетаний на важнейшие механические свойства оловянных бронз в диапазоне их наиболее эффективного влияния для кокильного литья. Исследованы, расчитаны и рекомендованы промышленности новые составы оловянных бронз типа ОФ, ОЦ и ОЦСН с целью получения прочных и плотных отливок при рациональном расходе дефицитных металлов. Исследованы и определены закономерности дендритного строения и изменения микроструктуры оловянных бронз, степень междендритной ликвации в отливках с увеличением скорости охлаждения и изменении химического состава. Исследовано влияние содержания газов в расплавах бронз на газоусадочную пористость, в том числе и "окисленную". Рекомендованы предельно-допустимые концентрации водорода и кислорода для расплавов бронз.

Практическая ценность. состоит в появившейся возможности разрабатывать составы бронз с заранее заданными свойствами при кокильном литье. Промышленности предложены новые составы (пределы концентраций элементов) оловянных бронз, отличающихся от рекомендованных действующих стандартов меньшим содержанием дефицитных металлов без снижения важнейших свойств кокильных отливок. Разработана научно-обоснованная технология литья бронз в кокиль для отливок с различными толщинами стенок, позволяющая экономить 3–5 кг Sn и 1,5 кг Ni на 1 т годного. Подтвержденный экономический эффект от внедрения в производство тех-

нологии литья изделий судовых центробежных насосов типа НЦВ 63/100, 63/80, 63/30 составил 39176 руб. Результаты работы предполагается внедрить на предприятиях министерств цветной металлургии и машиностроения.

Апробация работы. Результаты исследований доложены:

- на научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения В.И. Ленина в КФ МВТУ им. Н.Э. Баумана 4 февраля 1970 года;

- на семинаре в Ленинградском доме научно-технической пропаганды 22 апреля 1974 года;

- на семинаре секции кокильного литья НТО Машпром 14 марта 1975 года, г. Москва;

- на кафедрах "Автоматизация и механизация литейного производства" и "Технология материалов" МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1977-1978 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 7 научно-технических статей.

Структура и объем работы. Работа состоит из семи глав, изложенных на 145 страницах машинописного текста, 34 таблиц, 62 рисунков. Список литературы содержит 247 наименований работ отечественных и зарубежных авторов. В приложениях на 26 страницах включено описание исходных данных и результатов счета на ЭВМ, разработка алгоритма по определению коэффициентов уравнений регрессии, устанавливающих связь механических свойств бронз и их составов. В приложения включено 10 таблиц.

Аналитический обзор. Возможность и преимущества изготовления литых заготовок в кокили теоретически и экспериментально доказана исследованиями отечественных и зарубежных ученых и подтверждены опытом работы многих предприятий. Многолетний опыт производства и эксплуатации изделий из оловянных бронз показывает, что прогнозирование важнейших механических свойств и герметичности в отливках может быть достигнуто выбором рационального состава, скорости охлаждения и температурных режимов плавки и литья с учетом конфигурации отливки. Анализ литературных данных о влиянии Sn, Pb, Zn, Ni, P и вредных примесей на важнейшие механические свойства отливок показал, что имеющиеся рекомендации в ряде случаев противоречивы и относятся в большинстве своем к литью в песчаные формы. Стандарты, регламентирующие химический состав для двухкомпонентных бронз, не разработаны, а имеющиеся ГОСТы, ТУ и нормали для бронз

созданы без учета прогрессивных методов литья и анализов этих сплавов за последние годы. За эти годы технологические возможности получения оловянных бронз поднялись на более высокий уровень (непрерывное литье, применение анодированных алюминиевых кокилей, литье с металлическими водоохлаждаемыми стержнями и т.д.). Кроме того, точность определения химического состава бронз на базе современной аппаратуры и "стандартных образцов" за этот же период резко возросла. Существующие же стандарты допускают значительную разницу между максимальными и минимальными концентрациями элементов в бронзах без четких рекомендаций по содержанию вредных примесей, что при современном уровне технологии литья и точности определения составов не отвечает требованиям времени. Отсутствие методик, микроспектральных и микрорентгеноспектральных анализов бронз затрудняет изучение влияния элементов на ликвацию в отливках, в том числе и для решения технологических и металловедческих задач в области производства медных сплавов. В результате проведенного аналитического обзора литературы были сформулированы изложенные выше научные задачи работы и обоснованно содержание и целевое назначение отдельных её частей, определяющих следующие главные направления исследований:

I. Исследование влияния химического состава оловянных бронз и скорости их охлаждения на важнейшие механические свойства отливок. Выявление и количественная оценка влияния элементов химического состава и их сочетаний на получение требуемых механических свойств и качества отливок и разработка рациональных составов бронз для литья в кокиль.

2. Выявление закономерности влияния скорости охлаждения и технологических параметров литья на получение бездефектных отливок из оловянных бронз.

3. Усовершенствование методики определения водорода и кислорода в бронзах. Установление количественной связи между содержанием водорода в расплавах бронз и механическими свойствами кокильных отливках. Определение предельно-допустимых содержаний водорода и кислорода в оловянных бронзах, вызывающих брак отливок по газоусадочной пористости и механическим свойствам.

4. Разработка метода микроспектрального анализа бронз и усовершенствование метода комплексных исследований их микро-

структуры для изучения формирования кристаллического строения отливок. Исследование влияния состава бронз и ликвации на получение прочных и плотных отливок.

5. Разработка рекомендаций по выбору состава и технологии литья бронз в кокиль и экспериментальная их проверка в промышленности.

6. Внедрение в промышленность результатов работы, определение пути дальнейших исследований.

Теоретический анализ проводился с целью изучения главных особенностей физического механизма процесса формирования кокильных отливок из оловянных бронз. В основу представления о формировании кристаллического строения кокильных отливок из бронз с заданными свойствами были приняты следующие важнейшие факторы: скорость затвердевания расплава и технологические параметры при литье, химический состав бронз и взаимодействие водорода и кислорода при плавке и затвердевании бронз. Формирование отливки рассмотрено с позиций классического учения о процессе получения изделий с заданными свойствами в кокиль с учетом особенностей плавления и затвердевания оловянных бронз. Главную роль на этапе плавки играет взаимодействие расплавов с водородом и кислородом, которые являясь поверхностно-активными компонентами по отношению к меди тормозят процесс выделения водорода, адсорбируясь на поверхности раздела газ-металл. "Избыточное" Sn по сравнению с равновесной диаграммой Cu-Sn образует более богатую им фразу β. Предельная концентрация способствующая появлению хрупкого $(\alpha+\delta)$ эвтектоида в структуре отливок тем меньше, чем выше скорость охлаждения расплава в форме. В условиях неравновесного роста кристаллов, характерного для кокильного литья бронз происходит перемещение жидкой фазы в поверхностный слой отливки и из поверхностного слоя в развивающиеся кристаллы. Мелкие кристаллы у стенок кокиля и дендриты, ориентированные в направлении теплоотвода, препятствуют возникновению обратной ликвации. Рост кристаллов внутри объема отливки, наоборот, способствует развитию ликвации в результате выдавливания в микрокристаллитные пространства и на периферию легкоплавких составляющих, обогащенных Sn, Pb, P из-за усиления междендритной и внутридендритной ликвации. Степень ликвации зависит от интенсивности теплообмена и наличия в сплаве бронз ликвирующих элементов, соответственно изменяя

механические и эксплуатационные свойства кокильных отливок. Связи механических свойств кокильных отливок из бронз со скоростью затвердевания расплава, его химическим составом и содержанием водорода в расплаве установлены с привлечением аппарата регрессионного анализа.

Анализ полученных зависимостей показал, что наиболее эффективно действие скорости охлаждения и содержания водорода на механические свойства отливок из бронз с повышением содержания олова. При этом влияние олова в двухкомпонентных бронзах типа ОФ и ОЦ на механические свойства отливок заметнее, чем для многокомпонентных бронз (ОЦСН). Наиболее высокие механические свойства кокильных отливок из бронз могут быть получены при строго определенной концентрации элементов. Например, превышение критической концентрации (5%) свинца в бронзах ОЦСН увеличивает число его включений и их дисперсность с 0,01 до 0,07 мм и более. Причиной снижения механических свойств кокильных отливок из бронз в этом случае является расположение свинца по границам зерен, увеличение ликвации в отливках и ухудшение условий их питания. С учетом допущений, соответствующих границам применения кокильного литья бронз, расчитаны предельно-допустимые концентрации *Sn, Pb, Zn, Ni*, позволяющие получать наивысшие механические свойства в отливках.

Методика исследований. Экспериментальную часть работы выполняли на образцах и реальных отливках. Бронзы типа ОФ и ОЦ плавили непосредственно в литейном цехе в графитошамотовых тиглях емкостью до 400 кг на высокочастотных печах МГП-252 и МГП-102 из технически чистых металлов. Бронзы ОЦСН выплавляли из чушковой бронзы Бр. ОЗЦ8С4Н1 на этих же печах и использованием 40 ± 10% возврата. Расплав раскисляли фосфористой медью МФ-3 (ГОСТ 4515-73). Для определения конфигурации и размеров образцов был осуществлен групповой анализ изготовляемых в насосостроении отливок по их форме, массе, толщине и сечений. Скорость охлаждения и температуру бронз измеряли с помощью *Pt-PtRh* термопар с записью на электронных потенциометрах и осциллографах. Стандартные образцы для исследования механических свойств по ГОСТ 1497-61 и гагаринские образцы по ГОСТ 2685-63 изготовляли как в кокиль, так и вырезали из отливок. Скорости охлаждения образцов и отливок фиксировали. Исследовали влияние химического состава на механические свойства и микроструктуру

оловянных бронз типа ОФ, ОЦ и ОЦСН при литье в кокиль с постоянной скоростью охлаждения и следующих тепловых режимах: Бр. ОФ – температура заливки 1000–1050°С, кокиля 150–200°С и выбивки 600–650°С, соответственно Бр. ОЦ – 1160–1200°С, 150–200°С и 650–700°С; Бр. ОЦСН – 1160–1190°С, 100–150°С и 700–750°С. Химический состав по сечению отливок определяли спектральным методом и контролировали химическим по ГОСТ 1953.12–74. Металлографические исследования проводили на оптических и электронных микроскопах. Закономерности ликвации составляющих бронз по сечениям отливок и образцов изучали методами микрорентгеноспектрального и разработанного микроспектрального анализа для оловянных бронз. Микроспектральный анализ бронз проводили на установке, изготовленной в производственных условиях на базе спектрографа ИСП-30 с генератором дуги переменного тока ДГ-2 с выпрямляющей приставкой и оптической системой микротвердомера ПМТ-3. Анализ и статистическая обработка результатов измерений позволили отработать основные режимы работы на установке и определить аналитические линии фотометрирования и построения градуировочных графиков. Локальность разработанной методики микроспектрального анализа составила 40–50 мкм. Полуколичественную оценку распределений основных элементов в бронзах проводили также с помощью микроанализаторов МАР-1 и "Jeol" при ускоряющем напряжении электронного пучка 35 кв и локальностью 5–6 мкм. Для определения влияния содержания газов и скорости охлаждения на величину газоусадочных пор в отливках была сконструирована и изготовлена оригинальная установка. Принципиальное отличие установки для определения концентрации водорода и кислорода в бронзах состоит в особенности конструкций аналитической системы и окислительной печи для фракционного вымораживания газовой смеси. Тарировка установки по "стандартным образцам" для титановых сплавов позволила определить постоянные параметры и режимы работы для различных бронз, в том числе и температурные режимы нагрева образцов в экстракционных печах (для Бр. ОФ и ОЦ – 750°С; Бр. ОЦСН–850°С). Чувствительность определения водорода по результатам 20 измерений не превышала $5 \cdot 10^{-4}$%, кислорода – $5 \cdot 10^{-5}$%. Точность определения водорода и кислорода разработанным способом проверяли на "эксалографе ЕА-1 фирмы "Бальцерс". Коррозионные испытания образцов проводили в 10%-ном растворе H_2SO_4 и 10%-ном растворе HCl при кипении и

20°С. Результаты исследований статистически обрабатывали. Например, для статистической обработки данных по важнейшим механическим свойствам и химическому составу в кокильных отливках из оловянных бронз была разработана программа для ЭВМ в которой для увеличения точности были предусмотрены блоки перехода к безразмерным величинам и обратно и приняты меры для уменьшения объема памяти, необходимой для запоминания коэффициентов нормальной матрицы с учетом их симметрии.

Результаты обработки экспериментальных данных на ЭВМ (БЭСМ-4), расчеты дисперсии адекватности, воспроизводимости и проверка значимости коэффициентов уравнений регрессии, позволили количественно оценить влияние основных компонентов в бронзах и их сочетаний на важнейшие механические свойства кокильных отливок.

Экспериментальные исследования процесса формирования кокильных отливок из бронз. Исследованиями влияния режимов плавки и тепловых режимов при заливке бронзовых отливок ($T_{зал}$, $T_{кок}$, $T_{выб}$) на важнейшие свойства отливок были определены оптимальные параметры для кокильного литья бронз ОФ, ОЦ и ОЦСН. Изменением тепловых условий затвердевания можно добиться значительного улучшения свойств отливок благодаря оптимальному распределению эвтектоида, свинца и других включений за счет увеличения зоны столбчатых кристаллов в различных сечениях отливок из бронз. Отливки в кокиль имеют более мелкое (в 50-70 и более раз) макрозерно, чем те же отливки в песчаных формах или по выплавляемым моделям. Олово сверх предельно-допустимых концентраций увеличивает склонность сплава к развитию газоусадочной пористости и появлению хрупкого ($\alpha+\delta$) эвтектоида в структуре отливок, уменьшая механические свойства из-за расширения интервала затвердевания.

Исследования показали, что минимальное содержание водорода в бронзе Бр. ОЦСН 3-7-5-1 при литье в кокиль, равное 0,6+1,0 $см^3$/100 г вызывает пористость, размер которой в 3-4 раза меньше, чем при литье в песчаные формы. Однако, дальнейшее повышение содержания водорода в бронзах с 0,6 до 2,4 $см^3$/100 г увеличивает объем пористости кокильных отливок с толщинами стенок до 40 мм с 0.6 до 4,2% для Бр. ОЦ и с 0,4 до 2,8 для Бр. ОЦСН, уменьшая соответственно прочность кокильных отливок в 1,2 и 1,4 раза, а пластичность в 1,7 и 1,5 раза. Предельно-допусти-

мые концентрации водорода и кислорода в расплаве, приводящие к браку отливок из бронз по пористости и механическим свойствам до недопустимых ГОСТами значений, составляют: для Бр. ОЦСН 3-7-5-I 0,0043% O_2 и 0,0001% H_2 (I,I2 $см^3$/I00 г).

При кристаллизации расплава бронз с повышенным содержанием газов выделение водорода в молекулярном виде на поверхности образующихся кристаллов затрудняет их питание окружающей жидкой фазой и ограничивает их рост. При повышенных температурах заливки более II90°С и избытке кислорода в расплаве в отливках развивается газоусадочная пористость, в том числе и "окисленная". Водород и кислород, растворенные в бронзе, усиливают разделение жидкой и твердой фаз на отдельные компоненты, в результате которого междендритная и внутридендритная ликвация проявляются еще интенсивнее с повышением содержания *Sn, Pb, P* в сплаве. Количественный анализ (микроспектральный и рентгеноспектральный) образцов из кокильных отливок Бр. ОЦСН показал, что степень дендритной и междендритной ликвации составляет: 5,4-7,2% *Sn* и 3,5-7,0 *Pb*. Установлено, что при литье оловянных бронз в кокиль наблюдается обратная ликвация *Sn, Pb, P* и прямая *Zn, Ni*. Степень обратной ликвации по *Sn, Pb, P* при литье в кокиль больше, чем в песчаных формах и составляет соответственно для Бр. ОЦСН 3-7-5-I : 0,75 и 0,45% *Sn* I,5 и 0,3% *Pb*, для Бр. ОФ I0-I : 0,82 и 0,5% *Sn*; 0,2 и 0,05% P. Количественная оценка влияния элементов и их сочетаний на важнейшие механические свойства кокильных отливок из бронз ОФ, ОЦ и ОЦСН представлена в виде уравнений регрессии после проверки значимости коэффициентов. Изменение механических свойств кокильных отливок из бронз в зависимости от состава адекватно (с уровнем значимости 5% по критерию Фишера) описываются уравнениями второго порядка. Например, аналитическая зависимость для прочности от концентраций *Sn* и P в Бр. ОФ имеет вид:

$$\sigma_в = 30,98 - I,50 \cdot C_{Sn} + 0,87I6 C_P - 7,I40I C_{Sn}^2 + 2,59I3 \cdot C_{Sn} \cdot 4,I578 C_P^2,$$

где C_{Sn}, C_P – нормированная концентрация *Sn, P*. Уравнение справедливо при $8,8I\% \leq Sn \leq II,53\%$ и $0,08\% \leq P \leq I,2\%$.

Зависимости механических свойств от концентраций компонентов в бронзах ОЦ справедливы, при увеличении *Sn* от 6,0 до II,4%, *Zn* от 4,5 до 7,5%, а в бронзах ОЦСН при концентрациях *Sn* от 2,60 до 4,00%, *Ni* от 0,I22 до I,50%, *Pb* от 4,02 до 6,00%, *Fe* от 0,062 до 0,3I6%, *Zn* от 6,I7 до 9,00%, *Al* от 0,002 до 0,0I4%

и Si от 0,002 до 0,072%.

В результате анализа полученных уравнений установлены концентрации элементов в бронзах, при которых достигаются наиболее высокие свойства в кокильных отливках из бронз. Например, для Бр.ОФ установлено, что максимальная прочность обеспечивается при 1,2% Р и 10,26% Sn, относительное удлинение при 9,7% Sn и 0,08% Р, а твердость при 11,53% Sn и 1,2% Р. Для приведенного уравнения $\sigma_в$ для бронз ОФ дисперсия адекватности $S_{ад} = 23,0$; доверительный интервал $\Delta b = 0,39$; коэффициент корреляции при использовании уравнения для кокильных отливок с толщиной стенок 40 мм = 0,72. В бронзах ОФ при увеличении содержания Р до 1,2% большая часть эвтектоида связывается с фосфидной эвтектикой. Размеры включений эвтектоида и фосфидов меди достигают 0,02–0,05 мм. При концентрациях 9,7–10,3% Sn и 1,0–1,2% Р, эти включения минимальны по размерам, а расположение их при анализе микроструктур наиболее благоприятно для получения бездефектных отливок. Это связано с ростом степени пересыщения α – твердого раствора, увеличением энергии связи атомов фосфора с вакансиями и возрастанием роли этих атомов в эвтектике.

Превышение предельно допустимых концентраций Sn, Pb в бронзах ОЦСН свыше 3,3 и 5% соответственно увеличивает в структуре включения, обогащенные оловом с 0,03–0,04 мм до 0,1+0,14 мм, обогащенные свинцом от 0,01 до 0,07 мм и более. Кроме того, повышенная концентрация Sn и Pb усиливает развитие междендритной и внутридендритной ликвации, ослабляя межзеренные связи. Увеличение Sn и Pb сверх указанных концентраций приводит к утолщению межзеренной прослойки, при сохранении диаметра дендритной ячейки. Содержание Sn при этом по периферии зерна возрастает в 2–3 раза. Одна из причин междендритной и внутридендритной ликвации с нашей точки зрения и заключается в образовании на поверхности граней кристаллов адсорбированных пленок из атомов олова и свинца. Выявление механизма упрочнения и разупрочнения оловянных бронз ОФ, ОЦ и ОЦСН при кокильном литье, установление закономерностей ликвации в отливках путем исследований структур, расчета и анализа количественных зависимостей важнейших механических свойств и состава бронз, в том числе и на ЭВМ, позволили выявить влияние элементов и их сочетаний на основные свойства кокильных отливок и рекомендовать новые пределы концентраций элементов в бронзах.

Экспериментальная проверка механизма упрочнения и разупрочнения кокильных отливок из бронз в производственных условиях.

На отливках-представителях крышках, рабочих колесах, патрубках и втулках для центробежных судовых насосов с толщиной стенок 6,5–40 мм были проверены расчетные данные по составам и механизм упрочнения и разупрочнения кокильных отливок из оловянных бронз. Разница расчетных и экспериментальных значений механических свойств даже для отливок с толщиной стенок 30–40 мм не превышала 5% по прочности $\sigma_в$ 5% по пластичности δ и 10% по твердости. Минимальные ликвационные явления наблюдали в отливках из бронз именно при рекомендованных составах. Кроме того, коррозионная стойкость деталей судовых насосов, изготовленных по рекомендованной технологии также повышается. Коррозионная стойкость кокильных отливок по новой технологии на 10–15% выше тех же отливок в песчаных формах. Длительная эксплуатация деталей судовых насосов в морской воде показала, что коррозионная стойкость кокильных отливок, по созданной в процессе данной работы технологии, в 1,5–2 раза выше, чем была ранее. На основании проведенных исследований, расчетов и экспериментальной проверки, рекомендаций в производственных условиях промышленности предложены новые составы бронз для кокильного литья:
Бр.ОФ: 9,7–10,3% Sn; 1–1,2% P; Бр.ОЦ: 6,0–9,0% Sn; 5,7–7,0% Zn
Бр.ОЦСН: 2,6–3,3% Sn; 6,2–9,0% Zn; 4,0–5,0% Pb; 0,6–1,1% Ni

Разработка технологии литья бронз в кокиль.

На основе теоретического и экспериментального исследования были разработаны практические рекомендации, обеспечивающие получение качественных отливок из оловянных бронз. Эти рекомендации внесены в нормативно-техническую документацию и стандарты предприятия. Предложено доводить температуру расплава бронз до 1280°С. Перегрев металла свыше 1320°С увеличивает расход Zn и Pb. Например, при перегреве свыше 1320°С, содержание Pb в воздушной среде над индукционной печью увеличивается с 0,1 до 0,5 мг/м^3 (ПДК=0,01 мг/м^3), ухудшая санитарно-гигиенические условия труда. При 1050–1100°С вводят подогретый цинк, затем свинец и половину фосфористой меди. Наиболее качественный металл возможно получать при использовании флюса: 10–12% CuO, 25–30% SiO_2, остальное $Na_2B_4O_7$. С учетом конфигурации отливок и конструкции кокиля разработана технология получения деталей крышек, корпусов, патрубков и рабочих колес центробежных судо-

вых насосов. Отливки сложной конфигурации из Бр. ОФ 10-1 следует получать при температуре заливки 1000-1050°С, кокиля 100-150°С и выбивки 600-650°С. Для Бр. ОЦ 8-4 это 1070-1220°С, 150-200°С и 650-700°С соответственно, а для Бр. ОЦСН 1160-1190°С, 100-150°С и 700-720°С.

Внедрение в производство результатов исследований.

В настоящее время до 60% отливок из оловянных бронз на Щелковском насосном заводе производят в стационарные и вращающиеся металлические формы по созданной в процессе работы технологии. В результате внедрения рекомендаций по составам, технологии, стандартизации и метрологического обеспечения брак при литье оловянных бронз в кокиль снижен в 2 раза. Внедрение в производство рекомендаций по новым составам бронз при кокильном литье позволило получать экономию 3-5 кг *Sn* и 1,5 кг *Ni* на 1 т годного. Экономический эффект от внедрения новой технологии литья центробежных судовых насосов типа НЦВ 63/30;63/100 и 63/80 и рекомендованных составов для оловянных бронз на Щелковском насосном заводе составил 39176 рублей. Результаты работы внедрены также на Ногинском ордена Октябрьской революции заводе топливной аппаратуры имени 50-летия Октября с подтвержденным эффектом 1350 рублей.

ВЫВОДЫ

1. Исследован и выявлен механизм упрочнения и разупрочнения оловянных бронз при кокильном литье. Исследованы и рекомендованы новые пределы концентраций элементов в бронзах, отличающихся от рекомендованных действующими стандартами более экономичным содержанием дефицитных металлов и обеспечивающие получение прочных и плотных кокильных отливок. Установлено, что снижение механических свойств бронз при увеличении концентраций олова и свинца связано с образованием и ростом на поверхности граней кристаллов пленки из адсорбированных атомов олова и свинца. Установлено, что увеличение концентраций, элементов в бронзах сверх допустимых пределов, снижает важнейшие механические свойства из-за развития ликвации в отливках.

2. Исследовано и установлено, что при кристаллизации бронз в кокилях наблюдается обратная зональная ликвация олова, свинца и фосфора и прямая цинка и никеля. Это связано с выдавливанием в микрокристаллитные пространства и на периферию отливок легко-

плавких составляющих и развития междендритной ликвации. Степень обратной ликвации по олову, фосфору и свинцу при литье в кокиль достигает соответственно 0,8; 0,2 и 1,5% и развивается тем интенсивнее, чем больше перепад температур по сечению отливки и газонасыщенней расплав бронз.

3. Исследовано влияние содержания водорода и кислорода в расплавах бронз на газоусадочную пористость. Установлено, что при увеличении содержания водорода в бронзах с 0,6 до 2,4 $см^3$/100 г механические свойства бронз ОЦ и ОЦСН снижаются соответственно $\sigma_в$ с 1,2 и 1,4 раза, δ в 1,7 и 1,5 раза из-за увеличения объема пористости кокильных отливок с толщинами стенок до 40 мм для Бр. ОЦ с 0,6 до 4,2%, а для Бр. ОЦСН с 0,4 до 2,8%. Определены предельно-допустимые концентрации водорода и кислорода. Для Бр. ОЦСН они составляют 0,004% O_2 и 0,0001% H_2 (1,12 $см^3$/100 г). Превышение этих концентраций газов усиливает газоусадочную пористость в отливках, в том числе и "окисленную" вследствие нарушения прочного и пластичного скелета дендритных осей, окисления границ зерен и развития ликвации.

4. Разработана методика и определены основные параметры микроспектрального анализа бронз с локальностью 40–50 мм, позволившие исследовать количественные изменения микроструктуры и ликвацию в отливках в зависимости от изменения химического состава бронз.

5. Производственные исследования влияния химического состава оловянных бронз на важнейшие механические свойства кокильных отливок, в том числе путем статистической обработки результатов анализов промышленных и специальных плавок на ЭВМ по оригинальной программе позволили установить закономерности упрочнения и разупрочнения отливок из бронз и рекомендовать промышленности новые экономичные составы оловянных бронз для кокильного литья: Бр. ОФ 9,7+10,3% олова; 1–1,2% фосфора; Бр. ОЦ+6,0–9,0% олова, 5,7–7,0% цинка. Бр. ОЦСН: 2,6–3,3% олова; 6,2–9,0% цинка; 4,0–5,0% свинца; 0,6–1,1% никеля.

6. В результате выполненных исследований и проверки рекомендаций в производственных условиях установлены и внедрены в промышленность оптимальные режимы заливки, выбивки и нагрева форм при литье простых и сложных по конфигурации отливок из бронз, обеспечивающие повышение их прочности и плотности. Рекомендации внесены в нормативно-техническую документацию и стан-

дарты предприятия.

7. Разработанный технологический процесс плавки и литья оловянных бронз внедрен на двух серийных заводах и обеспечивает экономию 3-5 кг олова и 1,5 кг никеля на 1 т годного.

8. Экономический эффект от внедрения результатов работы для центробежных судовых насосов типа НЦВ 63/30;63/100 и 63/80 на Щелковском насосном заводе составил 39176 рублей, а на Ногинском ордена Октябрьской революции заводе топливной аппаратуры - 1350 руб.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Медведев А.И., Демин И.М., Басионок В.Д., Опыт Щелковского насосного завода по снижению брака отливок из оловянных бронз. Сб."Опыт совершенствования изготовления отливок из цветных сплавов". ЛДНТП, Ленинград, 1974.

2. Медведев А.И., Демин И.М., Басионок В.Д.. Снижение брака литья из оловянных бронз в насосостроении "Химическое и нефтяное машиностроение", 1974, №12.

3. Горохович Ю.А., Демин И.М.. Влияние условий затвердевания на свойства отливок из оловянных бронз. Сб."Технология и организация производства", 1974, №12, Киев.

4. Демин И.М., Матреничева Г.И.. Применение установки для микроспектрального анализа сплавов в производственных условиях. "Химическое и нефтяное машиностроение", 1975, №1.

5. Демин И.М., Дубинин Н.П., Ищенко В.В., Машков С.А.. Выбор оптимального химического состава оловянных бронз при литье в кокиль с применением ЭЦВМ, М. "Цветметинформация", Депонированная рукопись, 1974, №89, 15с, 4 илл.

6. Демин И.М., Орлов В.В.. О методах повышения качества отливок из оловянных бронз деталей судовых центробежных насосов. Экспресс информации, ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ", серия ХМ-9, № 1-75, 1975.

7. Демин И.М.. Влияние состава оловянных бронз на свойства кокильных отливок. "Литейное производство", 1975, №12.

МВТУ им. Н.Э. Бау
ФУНДАМЕНТ
БИБЛИО