

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»  
(НИТУ «МИСиС»)

Ленинский проспект, 4, Москва, 119991  
Тел. (495)955-00-32; Факс: (499)236-21-05  
<http://www.misis.ru>  
E-mail: [kancela@misis.ru](mailto:kancela@misis.ru)  
ОКПО 02066500 ОГРН 1027739439749  
ИНН/КПП 7706019535/ 770601001

№ \_\_\_\_\_  
На № \_\_\_\_\_

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и инновациям  
НИТУ «МИСиС»,

д.т.н., профессор  
Филонов Михаил Рудольфович

\_\_\_\_\_ 2017 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу  
Живетьева Андрея Сергеевича

«Управление структурой и свойствами отливок из меди и оловянной бронзы путем термической, термоскоростной обработки расплава и модифицирования», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 - Литейное производство

#### Актуальность диссертационной работы

Представленная Живетьевым А.С. диссертация посвящена исследованию влияния тепловой и модифицирующей обработок расплава на процессы кристаллизации и затвердевания с целью повышения физико-механических и эксплуатационных характеристик отливок. В работе исследовано влияние температуры перегрева расплава на характер изменения электросопротивления жидкой меди, установлен температурный порог его аномального изменения и разработан рациональный температурный режим плавки и легирования меди для достижения максимальных механических свойств. Также изучено влияние термоскоростной обработки (ТСО) и модифицирования расплава на его строение, процессы кристаллизации и структурообразования применительно к меди и оловянной бронзе.

Актуальность темы связана с широким распространением способов повышения качества и свойств отливок путем термовременной и термоскоростной обработки расплавов без введения модифицирующих добавок. Подобные исследования довольно распространены для сплавов на основе железа и алюминия. Применительно к меди и ее сплавам количество подобных работ существенно меньше. В связи с этим, исследование влияния тепловой обработки медного расплава с последующим модифицированием представляет значительный интерес с точки зрения повышения качества и свойств отливок.

Актуальность темы диссертации подтверждается выполнением научно-исследовательских работ в рамках:

- программы стратегического развития ТОГУ на 2012-2016 г.; 5.16-НГ ТОГУ «Управление структурой и свойствами меди и оловянной бронзы путем внешних воздействий на их расплавы:

- краевого гранта в области фундаментальных и технических наук на 2016-2017 годы. «Управление структурой и свойствами отливок из меди и оловянной бронзы путем термической, термоскоростной и электроимпульсной обработки расплава и модифицирования»

### **Научная новизна, достоверность и степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

В результате исследований автором работы проведен анализ и научное обоснование явления аномального характера изменения электросопротивления жидкой меди при температуре 1320 °С, обусловленного переходом жидкой фазы в гомогенное состояние. Установлено, что для достижения максимальных свойств легированной меди целесообразно перегревать расплав выше температурного порога аномального изменения электросопротивления на определенную температуру и осуществить легирование.

Установлено эффективное влияние термической (ТО) и термоскоростной обработки (ТСО) жидкой меди и ее расплавов (оловянной бронзы) на их свойства и научно обоснованы закономерности изменения параметров жидкого состояния ( $-\Delta J_{ж}$  и  $\alpha_{ж}$ ), процессов кристаллизации и структурообразования, свойства меди и комплексно-легированной оловянной бронзы (БрОАСМ 6-1,4-1-1) в зависимости от ТО и ТСО расплава. При этом физико-механические свойства – твердость, микротвердость, теплопроводность и плотность меди повышаются при ТСО расплава. Микроструктура  $\alpha$ -твердого раствора резко измельчается.

Также дано научное обоснование закономерности растворения компонентов (Sn, Mg, Al) в  $\alpha$ -твердом растворе в зависимости от ТО и ТСО расплава. Выявлено, что повышение скорости охлаждения расплава увеличивает микротвердость  $\alpha$ -твердого раствора вблизи электронного соединения и в самом эвтектоиде вследствие большего растворения в нем олова. ТО и ТСО расплава влияют на стехиометрию электронных соединений ( $Cu_xSn_yMg_z$ ), но электронная концентрация остается без изменения как у электронного соединения  $Cu_{31}Sn_8 \left(\frac{21}{13}\right)$ .

Также проведен анализ и научное обоснование закономерностей изменения параметров жидкого состояния и кристаллизации, растворимости кислорода и характера распределения компонентов в структурных составляющих оловянной бронзы и ее свойств от величины модифицирующих элементов (Ca, Cd, Zr, Ti и В). При модифицировании оловянной бронзы (Ca, Cd, Zr и Ti) измельчаются структурные составляющие вследствие зародышевого влияния электронных соединений с участием атомов модифицирующих элементов ( $X_n$ ) и кислорода ( $O_2$ ):

$Cu_xSn_yO_zX_v$ . Модифицирование повышает твердость и износостойкость оловянной бронзы вследствие увеличения микротвердости  $\alpha$ -твердого раствора и эвтектоида. Наиболее эффективно повышают износостойкость оловянной бронзы цирконий и лигатура Al-Ti-B, увеличивающие ее соответственно в 1,7 и 2,4 раза.

Достоверность полученных результатов работы Живетьева А.С. подтверждается тем, что экспериментальные данные получены на современном сертифицированном оборудовании, при выполнении работы использовались современные методы и средства исследования структур и свойств – элементно-фазовый, сканирующая электронная микроскопия, термография и др. Результаты работы заслушаны и обсуждены на 4 международных, всероссийских и межрегиональных научно-технических конференциях.

Сформулированные научные положения достаточно обоснованы. Они базируются на известных проверяемых факторах и согласуются с опубликованными данным, научными представлениями о процессах ТО, ТСО расплава и модифицирования.

Результаты диссертационной работы отражены в 21 (двадцати одной) публикации в виде статей, в том числе в 10 (десяти) статьях, опубликованных в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ

### **Практическая значимость работы**

Практическая значимость работы заключается в обосновании и экспериментальном подтверждении закономерностей положительного влияния ТО и ТСО расплава, а также модифицирования на особенности формирования структуры и свойства меди и оловянной бронзы, которые были взяты за основу при подготовке технологических решений, направленных на повышение физико-механических свойств отливок. На основании проведенных исследований дана рекомендация по разработке рациональных температурных режимов плавки и легирования меди и ее сплавов и технологии тепловой обработки (ТО и ТСО) жидкой меди расплава оловянной бронзы для повышения их функциональных свойств.

### **Рекомендации по практическому использованию результатов и выводов диссертационной работы**

Несомненным достоинством диссертации является факт, что основные результаты и выводы доведены до практического применения, их целесообразно использовать в промышленности на ряде машиностроительных предприятий.

Автором разработаны технологии плавки и легирования меди и оловянной бронзы, тепловой обработки (ТО и ТСО) расплава и модифицирования. Результаты работы могут найти применение на АО «Дальэнергомаш» (г Хабаровск).

## **Общая характеристика и анализ работы**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы и 2 приложений. Работа содержит 242 страницы, в том числе 96 рисунков, 54 таблицы и 2 приложения. Список литературы составляет 140 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, определена степень ее разработанности, сформулированы цели и задачи, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, положения выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов.

В первой главе приведен информационно-аналитический обзор состояния вопроса, в частности управления литой структурой и свойствами, приведены результаты исследований влияния внешних тепловых факторов (ТО и ТСО расплава) на исследуемые вопросы в чугунах, сталях и силуминах.

Во второй главе приведено описание использованного в работе экспериментального и аналитического оборудования, методологического обеспечения, материалов и образцов.

Третья глава посвящена результатам исследования влияния температурных режимов плавки меди и ее легирования на механические свойства сплава, термической обработки жидкой меди на ее строение, физико-механические свойства меди.

Четвертая глава посвящена исследованию влияния ТО и ТСО расплава на кристаллизационные параметры, структурообразование и свойства комплексно-легированной бронзы БрО-АСМ6-1,4-1-1.

В пятой главе представлены данные по влиянию различных модификаторов (Ca, Cd, Zr, Ti, Al, В) на строение жидкой фазы, кристаллизацию и структурообразование, а также результаты ликвационных процессов компонентов в структурных составляющих (Cu+ 6 мас.% Sn)

### **Подтверждение опубликования основных положений, результатов, выводов и заключений диссертации**

Основные результаты диссертационной работы достаточно полно представлены в 21 печатной работе, из которых 10 в журналах, рекомендованных ВАК.

Основные результаты проведенных исследований были доложены и обсуждены на международных, всероссийских и межрегиональных научно-технических конференциях.

**Личный вклад** соискателя не вызывает сомнения и состоит в непосредственном участии при постановке задач исследований, проведении экспериментальной части работы, а также выполнении теоретической части работы и интерпретации экспериментальных данных экспериментов.

Автореферат диссертации полностью отражает содержание работы. Диссертация написана грамотным техническим языком, оформление работы соответствует действующим стандартам.

### **Замечания по диссертации**

1. При изложении результатов проведенных исследований рекомендуется воздержаться от стиля подачи результатов в виде постулирования и использования броских терминов, таких как «аномальное изменение» и «истинный» расплав».
2. В данной работе приводятся результаты измерений удельной электропроводности расплавов, однако в разделе «Методики исследований» отмечается лишь, что для этих измерений использовалась высокотемпературная установка для измерения электросопротивления. При проведении измерений в разделе методики рекомендуется приводить ссылку на нормативный документ, регламентирующий методику, или краткое описание сути методики с указанием используемого оборудования. Оборудование необходимо обозначить с точки зрения модели, если оно является серийным, или также с помощью краткого описания принципа работы в случае, если оборудование является уникальным.
3. Сложно не согласиться с автором в том, что работы, отмечающие эффект «наследственности» и эффективность ТВО и ТСО, достаточно известны, но при этом в части медных расплавов их относительно немного. Однако следует отметить, что вклад наследственности в формирование структуры и свойств сплава не является ведущим, а входит в совокупность других факторов, таких как качество приготавливаемого расплава, а также температурные параметры литья и формы.
4. Демонстрируемый по результатам работы прирост в механических свойствах вызывает большой интерес, однако желательно рассматривать эти данные в комплексе с другими свойствами. Например, провести дополнительный анализ влияния ТВО на образование газовой пористости в отливках, а также на конечное усвоение легирующих элементов в сплаве по отношению к введённым количествам.
5. В рассмотренной диссертации проведено весьма большое количество практических экспериментов, результаты которых представлены в виде графиков. При этом не указываются доверительные интервалы измеренных величин. Очевидно, что любое практическое измерение имеет доверительный интервал, величина которого важна для правильного восприятия полученных результатов. В противном случае имеется вероятность получения результатов с доверительным интервалом, сопоставимым с самим результатом или величиной его изменения в ходе исследований.
6. Во вступительной части автореферата диссертации приводятся данные о 18 публикациях автора, в заключительной – о 21 печатной работе.

### **Заключение**

Диссертационная работа Живетьева Андрея Сергеевича содержит решение актуальной научной задачи, связанной с изучением закономерностей изменения строения расплава, кристаллизационных параметров, ликвационных процессов, структурообразования и свойств меди

и оловянной бронзы при тепловой обработке расплава и модифицировании, а также особенностей перераспределения компонентов оловянной бронзы между  $\alpha$ -твердым раствором и эвтектидом при тепловой обработке расплава и модифицировании.

Диссертация является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, соответствует критериям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Живетьев Андрей Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 – «Литейное производство».

Диссертационная работа Живетьева Андрея Сергеевича рассмотрена и обсуждена на заседании кафедры «Литейные технологии и художественная обработка материалов» НИТУ «МИСиС», «25» сентября 2017 г., протокол № 2.

Заведующий кафедрой

«Литейные технологии и художественная  
обработка материалов»,

д.т.н., профессор

Белов Владимир Дмитриевич

Ученый секретарь кафедры

«Литейные технологии и художественная  
обработка материалов»,

старший преподаватель

Коль Ольга Алексеевна

*Белов Владимир Дмитриевич, д.т.н., профессор, зав. кафедрой ЛТнХОМ, НИТУ «МИСиС»; почтовый адрес: 119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4, НИТУ «МИСиС»; тел.: +7 (495) 951-17-25; e-mail: vdbelov@mail.ru*

*Белов Владимир Дмитриевич*

НИТУ «МИСиС»