

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента 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**

### **1. Актуальность избранной темы**

В современных условиях остро стоит проблема повышения качества отливок с одновременным снижением их себестоимости. Сплавы на основе меди, в частности бронзы, используются для производства отливок различного назначения. Возрастающие требования потребителей к уровню механических и эксплуатационных характеристик должны быть выполнены производителем в существующих условиях производства. Одним из возможных путей повышения уровня свойств медных сплавов является использование термовременной и термоскоростной обработки расплава. Кроме того, применение внешних воздействий на кристаллизующийся расплав, например, модифицирования, позволяет обеспечить измельчение кристаллической структуры и, как следствие, повышение свойств сплавов. Поскольку при производстве отливок из оловянной бронзы возникают трудности, связанные с обеспечением требуемого уровня свойств, то разработка технологии подготовки расплава к разливке путем термоскоростной обработки для повышения механических и эксплуатационных свойств оловянной бронзы является актуальной задачей.

### **2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Анализ современных способов внешних воздействий на расплав с целью изменения структуры и свойств сплавов, выявления особенностей влияния легирующих элементов на эксплуатационные свойства меди и оловянной бронзы позволили автору сделать вывод о необходимости разработки технологии подготовки расплава к разливке для повышения механических и эксплуатационных свойств меди и оловянной бронзы. Для реализации поставленной цели сформулированы задачи исследования. Для решения поставленных задач использованы современные аттестованные приборы и методики исследования. В работе представлены результаты

выполненных экспериментов по влиянию температуры перегрева расплава меди на характер изменения политерма электросопротивления, по влиянию термоскоростной обработки на кристаллизационные параметры, структурообразование, свойства меди и оловянной бронзы, по влиянию модификаторов на структуру и свойства меди и оловянной бронзы. Полученные результаты исследования позволили сформулировать ряд научных положений, обеспечивающих решение актуальной в области литейного производства задачи разработки технологии термоскоростной обработки расплава меди и оловянной бронзы с целью повышения уровня механических и эксплуатационных свойств. По результатам выполненного исследования сформулированы выводы по выбору режима термоскоростной обработки расплава меди и оловянной бронзы, закономерностям изменения параметров жидкого состояния и кристаллизации в зависимости от термоскоростной обработки расплава, распределению элементов в структурных составляющих оловянной бронзы, влиянию модифицирующих добавок на параметры жидкого состояния и кристаллизации, характер распределения элементов в структурных составляющих оловянной бронзы.

Проведенные исследования позволили автору сформулировать рекомендации по режимам термоскоростной обработки расплава меди и оловянной бронзы на основе закономерностей изменения параметров жидкого состояния и кристаллизации.

Научные положения, выводы и рекомендации соответствуют названию, цели и задачам диссертации.

### **3. Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

При решении поставленных задач автором использовано современное научное оборудование: аналитический исследовательский комплекс на базе FE-SEM Hitachi SU-70 с приставками энергодисперсионного, волнового и микрофазового анализа, установка для комплексного исследования физических свойств расплавов методом проникающего  $\gamma$ -излучения «Параболоид-4», металлографический микроскоп MICRO-200 и др. Достоверность полученных результатов подтверждена большим количеством лабораторных экспериментов, а также применением современных методик исследования структуры и свойств литых образцов. Автором установлен аномальный характер изменения электросопротивления жидкой меди в интервале температур 1260...1320°C, обусловленный переходом

упорядоченной структуры расплава к разупорядоченной. Рекомендован перегрев расплава меди на 30 °С над температурой аномального изменения электросопротивления. Выявлены закономерности изменения параметров жидкого состояния и кристаллизации от термоскоростной обработки расплава меди и оловянной бронзы. Установлено, что независимо от температуры термоскоростной обработки расплава, повышение скорости охлаждения приводит к увеличению степени уплотнения и коэффициента термического сжатия при охлаждении жидкой фазы, снижению температуры кристаллизации, увеличению времени кристаллизации. Выявлено, что при термоскоростной обработке расплава повышение скорости охлаждения обеспечивает измельчение структурных составляющих оловянной бронзы независимо от температуры перегрева расплава. Установлен характер распределения элементов в структурных составляющих оловянной бронзы. Показано, что независимо от режима термоскоростной обработки расплава отмечается увеличение содержания олова и снижение содержания алюминия в  $\alpha$ -твердом растворе. Выявлены закономерности изменения параметров жидкого состояния и кристаллизации, характер распределения элементов в структурных составляющих оловянной бронзы, уровень свойств при модифицировании оловянной бронзы. Установлено, что при модифицировании оловянной бронзы наблюдается измельчение структурных составляющих. Полученные результаты исследования позволили автору сделать вывод о том, что модифицирование обеспечивает повышение твердости и износостойкости оловянной бронзы.

#### **4. Замечания**

1. При изучении влияния температуры перегрева сплава Cu-5% Al на уровень механических свойств установлено, что происходит одновременное повышение значений временного сопротивления разрушению при растяжении  $\sigma_b$  и относительного удлинения  $\delta$  (рис. 3.1 на с. 52). Из текста диссертации неясно, с чем это связано?

2. Не ясно, с какой целью в параграфе 2.3.2 (с. 48) приведена методика исследования жаростойкости сплавов. Исследование жаростойкости в работе не проводилось. С какой целью определялось удельное электросопротивление олова (рис. 3.2 на с. 53)?

3. В параграфе 3.2.1 (с. 54) исследовалось влияние температуры перегрева и скорости охлаждения расплава меди на кристаллизационные параметры. Неясно, какими были размеры образцов для исследования?

4. Неясно, почему значения теплопроводности меди в зависимости от температуры перегрева расплава существенно отличаются и составляют менее 100 Вт/(м·К), а значения твердости по Бринеллю изменяются от 30 до 54 (рис. 3.9 на с. 68). Известно, что теплопроводность меди составляет 390 Вт/(м·К).

5. На с. 69 написано, что резкое уменьшение плотности и теплопроводности меди по мере повышения температуры начала термоскоростной обработки до 1350 °С связано с измельчением структуры, приводящим к увеличению протяженности границ раздела зёрен, и повышением газонасыщенности жидкой фазы. Чем это подтверждается? В работе отсутствуют фотографии структуры образцов.

6. В качестве объекта исследования выбрана бронза следующего состава, мас. %: 6,0 Sn, 1,4 Al, 1,0 Pb, 1,0 Mg, Cu – остальное (с. 76). Такой бронзы в государственных стандартах на литейные и деформируемые бронзы нет. С какой целью выбрана эта бронза и где она применяется?

7. Автор исследовал влияние температуры перегрева и скорости охлаждения на кристаллизационные параметры комплексно-легированной оловянной бронзы (рис. 4.1 на с. 78). Неясно, с чем связано существенное снижение температуры начала кристаллизации  $t_{\text{н}}$  при различном перегреве и почему значения  $t_{\text{н}}$  разные?

8. Нет количественной оценки микроструктуры комплексно-легированной оловянной бронзы, поэтому безосновательно судить об изменении микроструктуры при различных температурах перегрева и скоростях охлаждения сплава (рис. 4.2 на с. 80).

9. Автором изучено влияние термоскоростной обработки расплава на процесс усадки комплексно-легированной оловянной бронзы (рис. 4.5 на с. 87). Неясно, с чем связана значительная разница в температурах начала усадки  $t^{\text{с}}$  сплава?

10. На с. 124 вывод об увеличении доли эвтектоида и измельчении структурных составляющих оловянной бронзы при увеличении скорости охлаждения расплава ничем не подтверждается, так как их объемная доля в структуре сплава в работе не определялась.

11. С чем связано повышение температуры солидус оловянной бронзы при модифицировании цирконием (рис. 5.1 на с. 131) и кальцием (рис. 5.2 на с. 132)? Почему отличается температура  $t_{\text{выд}}$  (рис. 5.2)?

12. На с. 151 автор пишет: «В процессе модифицирования в первую очередь происходит раскисление оловянной бронзы – обеспечение возможно

меньшего содержания вредных примесей ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2$ ) в металле и образование продуктов реакции – неметаллических включений эндогенного происхождения (оксидов, нитридов, оксинитридов и др.). Однако при раскислении происходит связывание кислорода и эта операция не связана с удалением азота и водорода из расплава. Кроме того, азот никак не влияет на свойства меди и медных сплавов. Целью модифицирования является измельчение структуры и повышение уровня механических свойств сплавов.

13. Автор ставил в работе цель разработать рациональную технологию подготовки расплава и заливки меди и оловянной бронзы для повышения механических и эксплуатационных свойств. Однако в тексте диссертации не представлены ни отливка, ни технология ее получения.

14. В тексте диссертации встречаются многочисленные грамматические ошибки и некорректные выражения, например, с. 3 «...свойства комплексно-лигированной...», с. 6 «В связи с этим, представляется большой научный и практический интерес проведение...», с.12 «Анализ современных уровней развития способов...», с. 19 «... во всем объеме форме или слитка...», с.30 «... может достигать перетектической точки...», с. 47 «... определения твердости по Бринеллю», с. 71 «...а – длинна...», с. 78 «... от температуры перегрева...», с. 91 «...концентрация магния ...», с.117 «Скорость охлаждения ...», с.121 «... измерения микротвердости...», с.155 «... дендридов  $\alpha$ -твердого раствора ...» и др. В списке использованных источников 140 позиций, однако в тексте диссертации присутствуют ссылки на источник 141 (с. 83), 144 (с. 130). Источник № 53 повторяет источник № 50.

## **5. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней**

Указанные замечания, некоторые из которых носят дискуссионный характер, не снижают теоретическую и практическую значимость диссертационной работы Живетьева А.С., которая выполнена на актуальную тему.

Представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение важной технологической задачи повышения механических и эксплуатационных свойств меди и оловянной бронзы за счет термовременной и термоскоростной обработки и модифицирования расплава. Результаты диссертационной работы могут быть

использованы в литейных цехах по производству отливок из сплавов цветных металлов.

Диссертация и автореферат по содержанию соответствуют паспорту научной специальности 05.16.04 – Литейное производство. Опубликованные работы и автореферат достаточно полно отражают содержание работы.

В целом представленная диссертационная работа удовлетворяет требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, 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.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук,  
старший научный сотрудник,  
профессор кафедры «Литейное  
производство и упрочняющие  
технологии» ФГАОУ ВО  
«Уральский федеральный  
университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина»

Л

Брусницын  
Сергей Викторович

21.09.2017 г.

Подпись  
заверяю

В  
А



620002 г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.  
Тел. (343) 375-44-76, e-mail: s.v.brusnitsyn@urfu.ru