

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации А.С. Живетьева выполненной на тему «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

Диссертационная работа посвящена актуальной проблеме, направленной на проработку пути повышения качества отливок, путем воздействия теплофизических методов с последующим модифицированием на расплавы, позволяющих повысить механические и эксплуатационные свойства отливок из них.

Автор выполнил широкие и систематические исследования, которые позволили выявить закономерности влияния тепловой обработки расплава (ТО и ТСО) и модифицирования на строение расплава, процессы кристаллизации и структурообразование, ликвационные процессы и свойства меди и оловянной бронзы, а также особенности перераспределения компонентов оловянной бронзы между а-твердым раствором и эвтектоидом при тепловой обработке расплава и модифицировании.

Работа обладает научной новизной и практической ценностью.

Научная новизна состоит в следующем.

1. Впервые установлен и научно обоснован аномальный характер изменения электросопротивления жидкой меди в процессе нагрева и охлаждения в интервале температур 1260... 1320 °С, заключающийся в его резком повышении при нагреве. Явление аномального изменения электросопротивления жидкой меди при нагреве обусловлено переходом упорядоченной структуры к разупорядоченной, гомогенной и целесообразно использовать для разработки рациональных температурных режимов плавки меди и ее легирования. Установлено, что максимумы механических свойств ( $\sigma_b$  и  $\delta$ ) меди достигаются при перегреве и легировании ее при температуре 1350 °С, превышающей на 30°С температурный порог аномального изменения электросопротивления меди (1320 °С).
2. Установлены и научно обоснованы закономерности изменения параметров жидкого состояния ( $-\Delta J_{ж}$  и  $\alpha_{ж}$ ) и кристаллизации ( $t_{кр}$ ,  $\tau_{кр}$ ,  $-\Delta J_{кр}$ ) от термической (ТО) и термоскоростной (ТСО) обработки жидкой меди. Независимо от температуры начала ТСО жидкой фазы (1200. ..1400 °С), повышение скорости охлаждения от 6 до 140 °С/мин приводит к увеличению степени уплотнения  $-\Delta J_{ж}$  и коэффициента термического сжатия  $\alpha_{ж}$  при охлаждении, снижению температуры кристаллизации  $t_{кр}$ , увеличению времени кристаллизации  $\tau_{кр}$  в связи с тем, что при ТСО фиксируется состояние жидкой фазы, склонной к переохлаждению. При этом физико-механические свойства - твердость, микротвердость, теплопроводность и плотность меди повышаются по мере увеличения скорости охлаждения жидкой фазы от 6 до 140 °С/мин.
3. Выявлены новые закономерности изменения параметров жидкого состояния, процессов кристаллизации и структурообразования, свойств комплексно-легированной оловянной бронзы (BrOACM 6-1,4-1-1) в зависимости от ТО и ТСО

расплава. Параметры жидкого состояния и кристаллизации оловянной бронзы изменяются от тепловой обработки расплава аналогично, как в чистой меди. С увеличением скорости охлаждения от 6 до 140 °С/мин микроструктура  $\alpha$ -твердого раствора и эвтектоида резко измельчается, независимо от температуры начала ТСО расплава. Дано научное обоснование установленным зависимостям.

4. Установлены закономерности растворения компонентов (Sn, Mg, Al) в  $\alpha$ -твердом растворе в зависимости от ТО, ТСО расплава и местонахождения кристалла  $\alpha$ -твердого раствора относительно электронного соединения  $Cu_xSn_yMg_z$ . Независимо от ТО и ТСО расплава, наблюдаются закономерности увеличения содержания олова и уменьшения концентрации алюминия в  $\alpha$ -твердом растворе по мере приближения к электронному соединению. При этом микротвердость  $\alpha$ -твердого раствора существенно возрастает. Повышение скорости охлаждения расплава при ТСО увеличивает микротвердость  $\alpha$ -твердого раствора вблизи электронного соединения и в самом эвтектоиде, а микротвердость такового вдали от электронного соединения снижается незначительно. ТО и ТСО расплава влияет на стехиометрию электронных соединений:  $(Cu_{31}Sn_{6,9}Mg_{6,6})$ , но электронная концентрация (21/13) остается без изменения как у электронного соединения  $Cu_{31}Sn_8$ .
5. Впервые установлены и научно обоснованы закономерности изменения параметров жидкого состояния ( $-\Delta J_{ж}$  и  $\alpha_{ж}$ ) и кристаллизации ( $t_{л}$ ,  $\tau_c$ ,  $t_{кр}$ ,  $-\Delta J_{кр}$ ,  $t_3$ ,  $\tau_3$ ), растворимости кислорода и характера распределения компонентов в структурных составляющих оловянной бронзы и ее свойств от величины модифицирующих добавок (Cd, Zr, Ti, Cu-Ca, Al-Ti-B). Установлено, что при модифицировании оловянной бронзы наблюдается измельчение структурных составляющих. Причем, с увеличением количества модифицирующих элементов (Ca, Cd, Zr, и Ti) чаще всего в центре эвтектоидных зерен располагаются электронные соединения с участием атомов модифицирующих элементов ( $X_v$ ) и кислорода ( $O_z$ ):  $Cu_xSn_yO_zX_v$ . Модифицирование способствует повышению твердости оловянной бронзы вследствие увеличения микротвердости  $\alpha$ -твердого раствора и эвтектоида. При этом также повышается износостойкость. Наиболее эффективно повышают износостойкость оловянной бронзы цирконий и лигатура Al-Ti-B, увеличивающие ее соответственно в 1,7 и 2,4 раза.

Практическая ценность работы состоит в разработке рациональных температурных режимов плавки и технологии тепловой обработки (гермической и термоскоростной) меди и ее сплавов на основе установления температурного порога аномального изменения электросопротивления для повышения их механических свойств отливок из меди и ее сплавов.

Полученные выводы, закономерности и рекомендации научно обоснованы. Указанные в автореферате публикации отражают основные научные положения и выводы, выдвинутые на защиту. Автореферат диссертации полностью отражает содержание диссертации.

По автореферату имеются следующие замечания.

1. В автореферате не представлены фотографии микроструктур образцов исследованных сплавов, выплавленных с рациональным температурным режимом и обработанных термической и термоскоростной тепловой обработкой и без неё, что затрудняет понимание изменений в их микроструктуре.
2. Не представлены данные по литейным свойствам комплексно-легированной оловянной бронзы (БрОАСМ 6-1,4-1-1) обработанной термической и термоскоростной тепловой обработкой и без неё.
3. В тексте автореферата не приведена оценка экономического эффекта от внедрения разработанных режимов и технологий.

Исходя из выше изложенного, можно утверждать, что диссертационная работа соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, ее автор Живетьев А.С. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 – Литейное производство.

Директор института металлургии  
машиностроения и  
материаловедения ФГБОУ ВО  
«МГТУ им. Г.И. Носова»


Доктор технических наук, доцент

  
Савинов Александр Сергеевич

455000 г. Магнитогорск,  
Ленина 38,  
e-mail: Savinov\_nis@mail.ru,  
тел. 8(3519)29-85-18

Зам. директора  
института «Металлургии  
машиностроения и материаловедения»  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

Кандидат технических наук, доцент,

  
Потапов Михаил Геннадьевич

45500, г. Магнитогорск, Ленина 38,  
e-mail Potapovmg@mail.ru  
тел. 8(3519)29-84-64,

