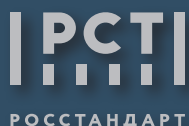


# 2 (1040) 2024 / ИЗДАЕТСЯ С 1927 ГОДА

# СТАНДАРТЫ ВСЕГДА ПЕРВЫЙ! WWW.RIA-STK.RU И КАЧЕСТВО



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ

2  
2024



## КАЧЕСТВО: ОТВЕТСТВЕННОЕ ОТНОШЕНИЕ К РЕЗУЛЬТАТУ



Indian Register Quality Systems

СТРАТЕГИЧЕСКИЙ  
ПАРТНЕР

ВАК, РИНЦ, RSCI, DOI: 10.35400

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ  
РАБОТЫ ТК ДЛЯ ЦЕЛЕЙ  
ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

22

ТЕОРИЯ ХАОСА  
В ИНФОРМАЦИОННОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ

49

ПЛАНИРОВАНИЕ  
КАЧЕСТВА  
ПРОДУКЦИИ

92



ISSN 0038-9692  
9 770038 969006 >

# ОПИРАЯСЬ НА ОПЫТ КИТАЯ ПРОСТОЙ ШАГ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ БРОНЗЫ БРБ2

## FOLLOWING CHINA'S EXPERIENCE: A SIMPLE STEP TO IMPROVE THE BRB2 BRONZE

The author makes a proposal to improve the quality of the bronze alloy used in products for various branches of the Russian industry by making changes to the relevant standard.

Бронза — высокопрочный сплав на основе меди, известный человечеству более 3000 лет. Металл обладает рядом уникальных свойств, которые делают его востребованным в металлургической промышленности. Современные бронзовые сплавы помимо главных компонентов могут включать в себя некоторые другие легирующие добавки.

В 2022 г. в журнале Materials, входящем в первый и второй кварталы наукометрических баз данных Web of Science и Scopus, опубликована статья китайских ученых, посвященная сравнению механических свойств и микроструктуры сплавов CuBe2 и C17200<sup>1</sup>. По результатам исследований с участием специалистов Государственной ключевой лаборатории цветных металлов и технологических процессов (GRIMAT Group Co., Ltd.), Китайской академии космических технологий, компании GRIMAT Engineering Institute Co., Ltd. и Главного научно-исследовательского института цветных металлов было сделано заключение о преимуществе сплава C17200 перед сплавом CuBe2.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

После старения при 300 °С в течение 2 ч прочность на разрыв сплавов C17200 и CuBe2 составила 1357 и 1309 МПа, предел текучести — 1195 и 1188 МПа, а относительное удлинение — 5,5 и 4,0% соответственно.

В состоянии максимальной выдержки размер зерен, однородность, граница зерен под малым углом и двойная плотность сплава C17200 оказались намного лучше, чем у сплава CuBe2, что привело к более значительному измельчению зерен и эффекту двойного упрочнения. В обоих сплавах осаждалось большое количество  $\gamma'$ -,  $\gamma$ - и  $\beta$ -фазы, но плотность осаждения  $\gamma'$ -упрочняющей фазы в C17200 была намного больше, чем в CuBe2. Сплав C17200 продемонстрировал лучшие механические свойства при комбинированном воздействии различных механизмов упрочнения.

Результаты исследования, по утверждению авторов статьи, стали ориентиром для последующего совершенствования китайских сплавов и заложили прочную основу для разработки новых медных сплавов.

### ИЗ ИСТОРИИ БРОНЗОВЫХ СПЛАВОВ

Авторство в разработке сплава C17200 принадлежит американской компании Brush Wellman (ныне Materion Brush). Ее специалисты первыми в мире оценили перспективы бериллиевой бронзы для использования в производстве вооружений, авиационной, машиностроительной и т.д.

В СССР не стали копировать этот сплав (возможно, предпочитая не нарушать авторские права Brush Wellman) и поставили на производство бронзу марки БрБ2.

Производство бериллиевой бронзы в Китае создавалось при участии советских специалистов, и сплав CuBe2 (QBe2.0) по своему химическому составу полностью соответствует бронзе БрБ2.

<sup>1</sup> Wang Z., Li J., Zhang Y., et al. Comparison of the mechanical properties and microstructures of QBe2.0 and C17200 alloys. Materials (Basel), 2022, vol. 15, no. 7, p. 2570. DOI: 10.3390/ma15072570.

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПЛАВА БРБ2

В настоящее время предприятия Китая производят прокат как из сплава CuBe2, так и из сплава C17200. Последний отличается лишь присутствием легирующей добавки — кобальта.

В отличие от бронзы БрБ2, содержащей никель в количестве 0,2–0,5%, в сплаве C17200 лимитируется суммарное содержание: Ni + Co — минимум 0,2%, Ni + Co + Fe — максимум 0,6%. Очевидно, что более высокие качественные показатели сплава C17200, произведенного в Китае, обусловлены наличием в его составе наряду с никелем кобальта.

Химический состав бронзы БрБ2 определяется ГОСТ 18175–78 «Бронзы безоловянные, обрабатываемые давлением» и представлен в таблице. Несмотря на присутствующее в стандарте наряду с обозначением сплава «БрБ2» его обозначения по СТ СЭВ 377–76 как «CuBe2Ni(Co)» (что должно подразумевать возможность замещения никеля в составе сплава кобальтом), непосредственно в самой таблице среди основных компонентов кобальт отсутствует.

Т а б л и ц а

Химический состав бронзы БрБ2 (согласно ГОСТ 18175–78), %

Массовая доля компонентов		Массовая доля примесей (не более)					Медь
Бериллий	Никель	Кремний	Алюминий	Свинец	Железо	Сумма	
1,8–2,1	0,2–0,5	0,15	0,15	0,005	0,15	0,5	Остальное

Сплав БрБ2 имеет большое значение в производстве продукции для космической, оборонной промышленности, авиационной, нефтедобычи и других критически важных отраслей нашей страны. Поэтому игнорировать имеющуюся возможность совершенствования сплава БрБ2 нельзя.

В этой связи предлагаем учесть опыт китайских коллег. И первым шагом должно стать внесение изменения в ГОСТ 18175–78, которое позволит вводить в сплав БрБ2 легирующие добавки кобальта: их суммарное содержание с никелем должно составлять от 0,2 до 0,5%.

Надеемся быть услышанными профессиональным сообществом, прежде всего — руководителями и специалистами соответствующих организаций и ведомств.



Александр Андреевич ФИЛАТОВ — доктор технических наук, научный сотрудник ЗАО «Прочность»

Aleksandr A. FILATOV — Doctor of Engineering Sciences, Researcher, Prochnost JSC



Ключевые слова: бронзовые сплавы, бериллиевая бронза, бронзы безоловянные, механические свойства, возможности совершенствования, кобальт.

Keywords: bronze alloys, beryllium bronze, tin-free bronzes, mechanical properties, improvement possibilities, cobalt.

## РЕЦЕНЗИЯ

на статью авторов Wang, Z. Li, J. Zhang, Y. Lv, C. Li, T. Zhang, J. Hui, S. Peng, L. Huang, G. Xie, H. и др.. Comparison of the Mechanical Properties and Microstructures of QBe2.0 and C17200 Alloys. *Materials* **2022**, *15*, 2570. <https://doi.org/10.3390/ma15072570>

В статье приводится сравнение механических свойств двух дисперсионно твердеющих сплавов на медной основе – бериллиевой бронзы QBe2.0 и бериллиевой бронзы C17200. Китайский сплав QBe2.0 по химическому составу соответствует бронзе БрБ2. Сплав C17200 (стандарт ASTM, США) отличается присутствием кобальта в качестве легирующей добавки. В отличие от сплава БрБ2, содержащего никель в количестве 0,2-0,5%, в сплаве C17200 ограничивается содержание никеля и кобальта суммарно минимум 0,2% и никеля, кобальта и железа суммарно максимум 0,6%.

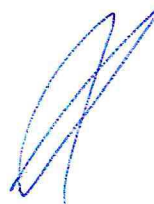
На основе проведенных исследований морфологии микроструктуры сплавов с помощью сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии (SEM и TEM), дифракции обратно рассеянных электронов (EBSD) методами сравнительного анализа были выявлены причины получения лучших механических свойств сплава C17200 в состаренном состоянии за счет совместного воздействия различных механизмов упрочнения. Испытания механических свойств проводили в состоянии после старения 300 °С в течение 2 ч (старение на максимальную твердость для сплава C17200). Предел прочности сплавов C17200 и QBe2.0 составил 1357 МПа и 1309 МПа, предел текучести — 1195 МПа и 1188 МПа, удлинение — 5,5 % и 4,0% соответственно. Установлено, что после старения на максимальную твердость сопоставляемые величины размера зерна, однородности, соотношения малоугловых границ зерен, плотности двойников сплава C17200 были намного лучше, чем у сплава QBe2.0, что привело к более значительному измельчению зерна и эффектам двойного упрочнения. Так, например, выделение  $\beta$ -фазы у сплава C17200 было равномерной по объему, когда у QBe2.0 выделения носили локализованный строчный характер. В обоих сплавах выделилось большое количество  $\gamma'$ -фазы,  $\gamma$ -фазы и  $\beta$ -фазы, но плотность выделения упрочняющей  $\gamma'$ -фазы в сплаве C17200 оказалась намного выше, чем в сплаве QBe2.0.

Несмотря на то, что кинетика образования упрочняющих фаз в зависимости от режимов старения судя по материалам статьи не исследовалась, анализ результатов, полученных

современными методами исследования микроструктуры и сформулированные на их основе выводы выглядят убедительными и обоснованными.

Статья опубликована в журнале *Materials*, который входит в первый и второй квартили в наукометрических баз данных научных изданий Web of Science и Scopus.

Зав. кафедрой технологий  
производства двигателей  
ФГАОУ ВО «Самарский национальный  
исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева», д.т.н.



А.И. Хаймович

Зав. кафедрой технологии металлов и  
авиационного материаловедения  
ФГАОУ ВО Самарский национальный  
исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева, д.т.н.



Е.А. Носова

Подпись <u>Хаймович АИ, Носовой ЕА</u> удостоверяю
Ученый секретарь Самарского университета
<u>И.П. Васильева</u> Васильева И.П.
<u>ноябрь</u> 20 <u>23</u> г.

