

УДК 620.18, 620.172, 620.178.1

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПРИ ФРИКЦИОННОЙ
ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕЙ ОБРАБОТКЕ МЕДНОГО СПЛАВА БрАМn9-2**

А.М. Черемнов, Т.А. Калашникова, А.В. Чумаевский

Научный руководитель: д.т.н. Е.А. Колубаев

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

Россия, Томск, пр. Академический, 2/4, г. 634055

E-mail: amc@ispms.ru

**REGULARITIES OF STRUCTURE FORMATION AFTER FRICTION STIR PROCESSING OF
CuAl9Mn2 COPPER ALLOY**

A.M. Cheremnov, T.A. Kalashnikova, A.V. Chumaevskii

Scientific Supervisor: doctor of technical sciences E.A. Kolubaev

Institute of Strength Physics and Materials Science of SB RAS, Russia, Tomsk, pr. Akademicheskii.,2/4, 634055

E-mail: amc@ispms.ru

***Abstract.** In the present study, the surface layer of bronze slab was modified by friction stir processing. After the processing metallography and microhardness of the processed slab sample were examined. Bronze is a material with excellent electrical and thermal conductivity and corrosion resistance, but its mechanical properties are very low. As a result, it was determined that friction stir processing is significantly improves the mechanical properties of bronze.*

Введение. Медь обладает высокой электропроводностью, теплопроводностью и обрабатываемостью. Медные сплавы, в частности бронзы, интересны для промышленности за счёт своей устойчивости к агрессивным средам, прочности и пластичности. Различные виды бронз обладают одними из наиболее высоких показателей износостойкости в трибосопряжениях. Благодаря этим достоинствам детали на основе меди и медных сплавов являются широко распространёнными материалами для промышленного применения. Но медь с исходно низкими механическими свойствами не может удовлетворить строгие требования к несущей способности, а медные сплавы характерны также своей микропористостью и усадкой, а при добавлении в них большего количества легирующих элементов они становятся более хрупкими [1,2]. Одним из путей устранения таких недостатков является получение покрытий на поверхности медных сплавов с сохранением прочной и пластичной структуры основного металла.

Одним из способов повышать механические свойства поверхностных слоёв различных металлов, в том числе меди и медных сплавов, является фрикционная перемешивающая обработка (ФПО). Схема процесса ФПО представлена на рисунке 1. Процесс обработки локально модифицирует поверхность материала за счёт интенсивной пластической деформации, достигаемой через введение инструмента в поверхность обрабатываемого материала и прохождения инструмента вдоль линии обработки. Инструмент при внедрении и прохождении по поверхности локально нагревает материал ($T \approx 0,6 \div 0,8 T_{\text{плавл}}$), размягчает и пластифицирует его с пластической деформацией, что приводит к измельчению зерна. Такая обработка влияет на механические свойства материала, приводя к

формированию ультрамелкодисперсной структуры [3-5]. Одними из наиболее износостойких материалов на основе меди являются алюминиево-марганцевые бронзы, обладающие относительно невысокой стоимостью и хорошими показателями прочности, пластичности и трибологической стойкости. Целью данной работы было рассмотрение изменения структуры в поверхностном слое медного сплава БрАМц9-2 при фрикционной перемешивающей обработке.

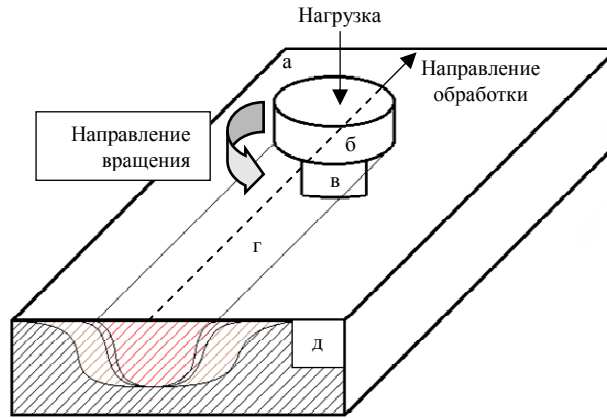


Рис. 1. Схема процесса ФПО: а) обрабатываемый металл, б) плечи инструмента, в) пин инструмента, г) зона обработки, д) поперечное сечение обработанного материала

Материалы и методы исследования. В настоящей работе были исследованы образцы из листового проката толщиной 4 мм медного сплава БрАМц9-2, подверженного фрикционной перемешивающей обработке стальным инструментом с винтовым пином. Длина пина – 2,5 мм, количество проходов – 1, скорость вращения инструмента – 500 об/мин, скорость его перемещения – 140 мм/мин, усилие прижима при внедрении – 1400 кг, усилие прижима при сварке – 1100 кг. Металлографические исследования проводились на образцах, вырезанных в перпендикулярном направлении обработки сечении, при помощи оптического микроскопа Альтами MET 1С. Механические свойства образцов определяли на универсальной испытательной машине УТС110-М. Микротвердость образцов определяли на микротвердомере ПМТ-3М.

Результаты. Методом оптической металлографии была выявлена бездефектная структура, которая часто характерна для фрикционной перемешивающей обработки (микроструктура образцов в приведена на Рисунке 2). Размер зёрен в основном металле (ОМ) – 80...140 мкм. Зёрна в зоне перемешивания (ЗП) сильно измельчены, их размер составляет 3...8 мкм, к границе с ЗТМВ увеличиваются до 20 мкм. Также измельчению подверглись зёрна в зоне термомеханического воздействия (ЗТМВ). Размер зёрен в ЗТМВ составляет около 20...45 мкм. Граница между ЗТМВ и ОМ чётко не определяема.

На протяжении всей ЗП травление выявило хорошо наблюдаемые отдельные слои в видео потока металла, особо хорошо и в большом количестве выделяемые в нижней части ЗП. Распределение фаз в объеме зоны перемешивания представляется достаточно равномерным, как и в основном металле.

Также были исследованы механические свойства образца медного сплава БрАМц9-2 после проведения фрикционной перемешивающей обработки. Результаты показали значительное повышение микротвёрдости в области обработки по сравнению с областью основного металла. Предел прочности материала зоны перемешивания повысился от 640 до 740 МПа в сравнении с основным металлом. Предел текучести увеличился с 500 до 540 МПа.

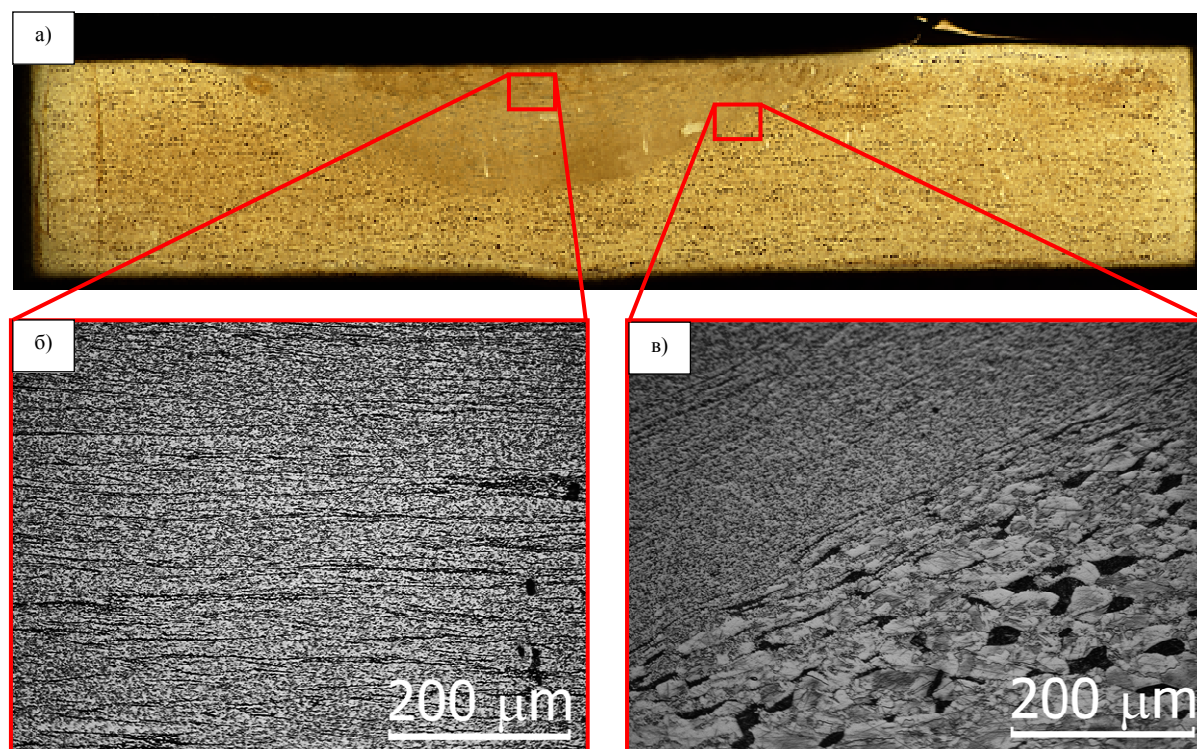


Рис. 2. Макро-(а) и микроструктура образца, подвергнутого процессу ФПО, в центральной части ЗП (б) и на границе ЗП, ЗТМВ и ЗТВ (в)

Закключение. Фрикционная перемешивающая обработка бронзовой пластины приводит к улучшению микроструктуры в зоне перемешивания. Происходит снижение размера зёрен по сравнению с основным металлом. Повышается микротвёрдость и прочностные свойства материала преимущественно за счёт механического перемешивания и измельчения зёрен в зоне перемешивания.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0012.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dinaharan I. et. al. Microstructure and wear characterization of rice husk ash reinforced copper matrix composites prepared using friction stir processing // Journal of Alloys and Compounds – 2017. – V. 718. – pp. 150 – 160.
2. Tavares S.S.M. et. al. Microstructure, mechanical properties, and brittle fracture of a cast nickel-aluminum-bronze (NAB) UNS C95800 // Engineering Failure Analysis – 2021. – V. 128. – pp. 105606 – 105624.
3. Chumaevskii A.V. et. al. Hardening of Aluminium Alloy 5556 and Copper C11000 Obtained by the Additive Electron-Beam Method with the Following Friction Stir Processing // 2020 7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects – 2020. – V. 7. – pp. 1299 – 1303.
4. Eliseev A. A. et. al. Material Transfer by Friction Stir Processing // Multiscale Biomechanics and Tribology of Inorganic and Organic Systems – 2021. – pp. 169 – 188.
5. Iwaszko J., Kudla K.. Friction stir processing of copper // Metal Conference Papers – 2019. – pp. 1050 – 1056.