

Научная статья
УДК 669.715

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ В СИСТЕМЕ МЕДЬ-ТИТАН ПРИМЕНЯЕМОЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ВТУЛОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКЕ

Владислав Александрович Калиниченко¹, А.С. Калиниченко²

¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Республика Беларусь

¹kvlad@bntu.by

Аннотация. Композиционная структура существенно повышает физико-механические и эксплуатационные характеристики материалов, в частности, медных сплавов. В работе исследовались особенности формирования композиционной структуры меди при легировании титаном. Установлено формирование различных фаз системы медь-титан, которые выступают в роли упрочняющей фазы. Установлено, что ввод 19 мас.% титана обеспечило рост твердости исходного сплава более, чем в 1,5 раза.

Ключевые слова: композиционные материалы, медные сплавы, титановые сплавы, антифрикционные материалы, растворение материалов.

Для цитирования: Калиниченко В.А., Калиниченко А.С. Исследование формирования композиционной структуры в системе медь-титан применяемой для изготовления износостойких втулок используемых в сельскохозяйственной технике // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: Сборник трудов X Международной научно-практической конференции – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2023, С. 558-563.

Scientific article
UDC 669.715

INVESTIGATION OF THE FORMATION OF A COMPOSITE STRUCTURE IN THE COPPER-TITANIUM SYSTEM USED FOR THE MANUFACTURE OF WEAR-RESISTANT BUSHINGS USED IN AGRICULTURAL MACHINERY

Vladislav Aleksandrovich Kalinichenko¹, A.S. Kalinichenko²

¹Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

²Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

¹kvlad@bntu.by

Annotation. The composite structure significantly increases the physical, mechanical and operational characteristics of materials, in particular, copper alloys. The paper deals with features of the formation of the copper composite structure after the alloying with titanium. The formation of various phases of the copper-titanium system, which act as a reinforcing phases, has been established. It is established that the input of 19 wt.% of titanium provides the increase in the hardness of the initial alloy by more than 1.5 times.

Keywords: composite materials, copper alloys, titanium alloys, antifriction materials, dissolution of materials.

For citation: Kalinichenko V.A., Kalinichenko A.S. Investigation of the formation of a composite structure in the copper-titanium system used for the manufacture of wear-resistant bushings used in agricultural machinery // Innovations in environmental management and protection in emergency situations: Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference - Saratov: Vavilov University, 2023, pp. 558-563.

Медь и ее сплавы характеризуются высокими антифрикционными свойствами. Однако физико-механические свойства меди довольно низкие, что ограничивает ее применение в высоконагруженных узлах трения и при повышенной температуре. Известно, что композитная конструкция обладает уникальным сочетанием высоких физико-механических и эксплуатационных свойств, что делает ее привлекательной для использования в различных деталях, в том числе в парах трения. Титан является перспективным легирующим элементом, позволяющим повысить физико-механические свойства меди при повышенной температуре. Титано-медные сплавы уже находят свое применение. Например, бинарные сплавы Ti-Cu были успешно разработаны для тиксоформования и в качестве трибоэлементов для тяжело нагруженной техники [1].

Антифрикционные свойства меди можно значительно улучшить путем легирования атомами титана, что приводит к снижению коэффициента трения в ~2,5 раза для всех изученных режимов, а также повышению износостойкости. Основными причинами улучшения трибологических характеристик поверхностного слоя являются повышение микротвердости и формирование развитого рельефа поверхности [2].

Показано, что легирование титана медью приводит к образованию интерметаллидов (купридов титана) в зоне переплава, что способствует значительному повышению износостойкости поверхностного слоя. При испытании на износ фиксированного абразива износостойкость покрытия в 2 раза выше по сравнению с титановым сплавом VT1-0. Дендритные фрагменты на основе интерметаллида Ti_2Cu (35 ат. %Cu и 65 ат. % Ti) и $\beta TiCu_4$ (~77 ат. %Cu и ~23 % Ti при %), а межклеточное пространство между фазами заполнено интерметаллическим соединением $TiCu_2$ (77 ат. %Cu и 23 ат. % Ti) [3]. Согласно диаграмме состояния медь-титан, в системе образуются два конгруэнтно плавящихся соединения Ti_2Cu (γ) и $TiCu$ (δ). Температура плавления соединения Ti_2Cu составляет 1005 °С, а температура плавления соединения $TiCu$

составляет 982 °С. Образование соединений Ti_3Cu_4 (ϵ), Ti_2Cu_3 (θ), $TiCu_2$ (λ), $TiCu_4$ (ζ) происходит путем перетектических реакций. Соединение Ti_3Cu_4 (ϵ) образуется в результате взаимодействия жидкой фазы с δ -фазой $TiCu$ при 925°С. Образование соединения Ti_2Cu_3 (θ) является результатом взаимодействия жидкой фазы с ϵ -фазой Ti_3Cu_4 при температуре 890 °С. Соединение $TiCu_2$ (λ) образуется в результате взаимодействия жидкой фазы с θ -фазой Ti_2Cu_3 при температуре 870 °С. Образование ζ -фазы $TiCu_4$ происходит при температуре 875°С во время взаимодействия между жидкой фазой и λ -фазой $TiCu_2$. В дополнение к этим шести соединениям в системе титан-медь происходят три эвтектических превращения. Таким образом, изменяя состав бинарного сплава $Cu-Ti$, можно получить широкий спектр интерметаллических соединений, которые действуют как упрочняющая фаза.

Целью работы было изучение структуры композиционного материала системы медь–титан, полученного с использованием технологии литья, позволяющей получать изделия с различной геометрией.

Порошок титана марки Т0 в количестве 19 мас.% вводили в расплав меди М1 и перемешивали магнитным полем.

На рисунке 1 показан общий вид композитного материала (а) и результат химического анализа образца с помощью электронного зонда, усредненный по площади изображения (б). На рисунке показано равномерное распределение твердеющей фазы. Среднее содержание титана составляет 21,18 мас.%, а меди - 78,82 мас.% соответственно. Это указывает на присутствие в структуре соединений Ti_2Cu_3 , $\beta TiCu_4$ и $TiCu_2$.

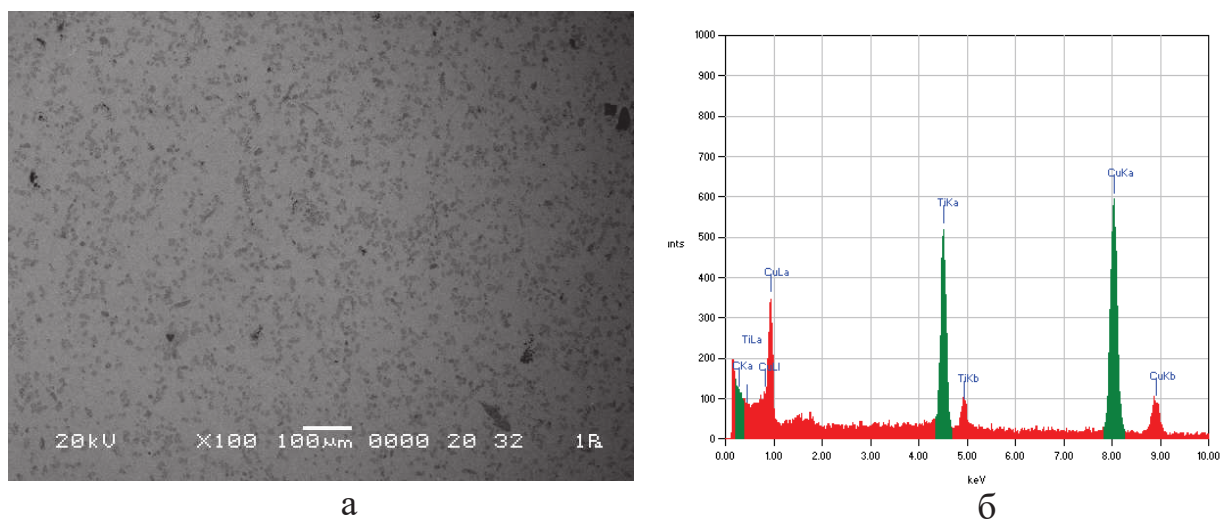


Рисунок 1 – Микроструктура бинарного сплава $Cu-Ti$ (а) и электронно-зондовый химический анализ

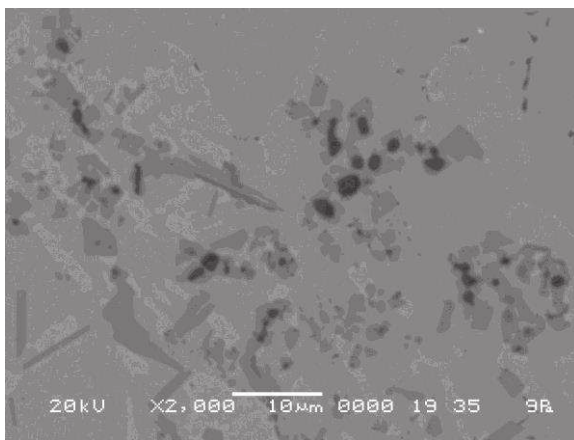
На рисунке 2 показана микроструктура образца при большом увеличении и результаты электронно-зондового химико-фазового анализа структурных элементов. Анализ данных, показанных на рисунке 3, показывает наличие следующих фаз: $\beta TiCu_4$ (а), Ti_3Cu_4 (b) и $TiCu_2$ (с).

Некоторые образцы были обуглены с образованием карбидов, которые дополнительно способны повышать прочностные свойства композиционных

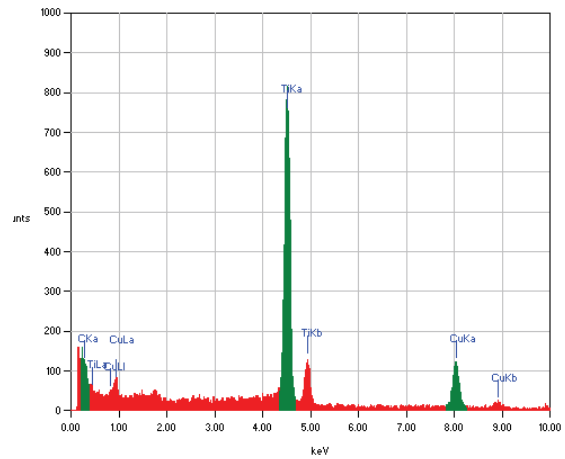
материалов. На рисунке 3 показана типичная микроструктура после карбонизации. Электронно-зондовый химический анализ показывает, что круглые частицы в своем составе содержат 86,18 мас.% углерода, а также титан и медь (2,47 и 11,34 мас.% соответственно).

Фаза, имеющая темно-серый цвет, состоит в основном из интерметаллида Ti_2Cu . Соединения, которые имеют светло-серый цвет на изображении, представляют собой комплекс, включающий фазы Ti_2Cu_3 , $\beta TiCu_4$ и $TiCu_2$. Матрица состоит в основном из фазы $\beta TiCu_4$. На рисунке 3б – 3г показаны карты распределения основных элементов по площади выборки.

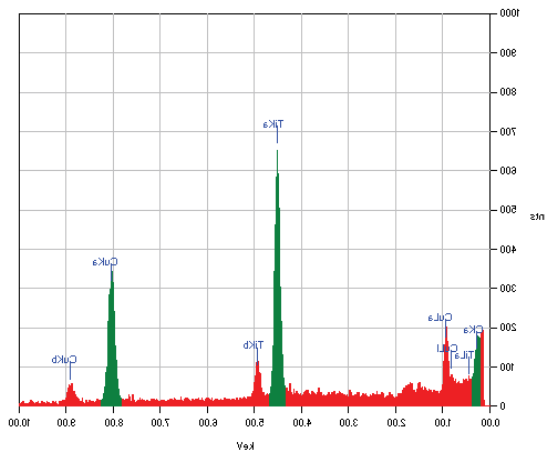
Анализ рис. 3 показывает, что все элементы довольно равномерно распределены по поверхности образца, подтверждая отсутствие процессов ликвации. Равномерное распределение элементов обеспечивает рост механических свойств.



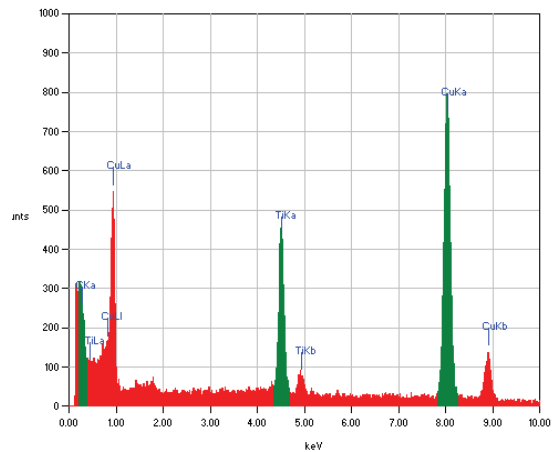
а



б



в



г

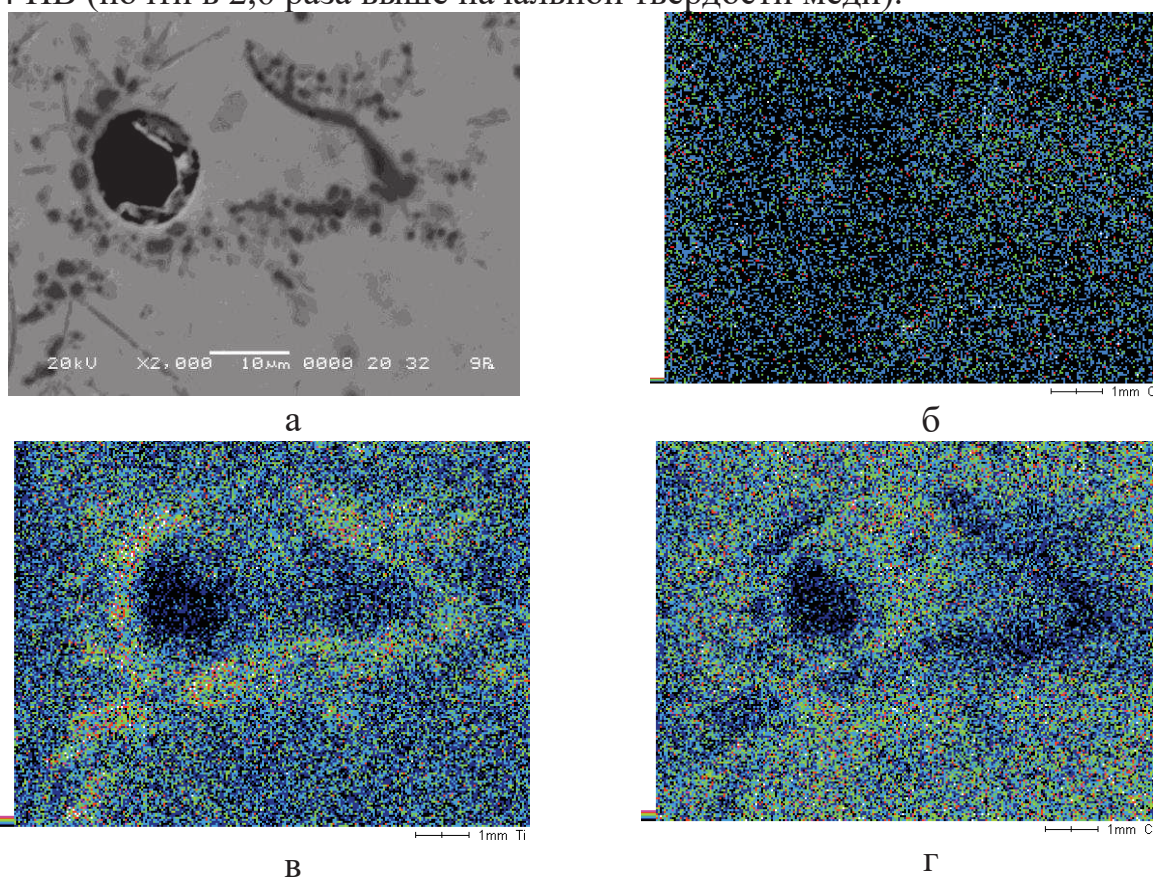
а – микроструктура образца, б – фазовый состав черных включений, в – фазовый состав темных включений, г – фазовый состав серых включений.

Рисунок 2 – Микроструктура полученного образца при высоком увеличении и электронно-зондовый химический анализ полученных образцов.

Испытания показали, что введение титана в медь обеспечило повышение твердости бинарного сплава до 427 НВ, что значительно выше твердости исходной меди (280 НВ). Дальнейшая карбонизация позволила увеличить значение твердости до 724 НВ. Это, несомненно, будет способствовать повышению износостойкости триботехнических изделий при повышенных температурах.

Исследования показали, что при легировании титаном прочностные свойства меди эффективно повышаются. В микроструктуре бинарного сплава наблюдаются фазы Ti_2Cu_3 , $\beta TiCu_4$ и $TiCu_2$, Ti_2Cu . После карбонизации в структуре также присутствуют карбиды.

Твердость бинарного сплава Cu-Ti превышает твердость исходной меди в 1,53 раза. Последующая карбонизация повышает твердость сплава до 724 НВ (почти в 2,6 раза выше начальной твердости меди).



а – микроструктура образца, б – углерод, в – титан, г – медь.
Рисунок 3 – Микроструктура и отображение распределения элементов по поверхности образца.

Медно-титановые сплавы, полученные по технологии литья, представляют интерес для использования в узлах трения, работающих при повышенных нагрузках и температурах.

Список источников:

1. Кайо Ниитсу Кампо, Далтон Даниэль де Лима, Эдер Сократес, Наджар Лопес, Рубенс Карам. О выборе сплавов Ti-Cu для процессов тиксоформования: фазовая диаграмма и оценка микроструктуры // Журнал материаловедения. 2015. Том 50. № 8. с. 8007-8017.

2. Черенда Н. Н., Ласковниев А.П., Басалай Ю.В., Трибологические свойства меди, легированной атомами титана, под воздействием компрессионных плазменных потоков (Трибологические свойства меди, легированной атомами титана под воздействием компрессионных плазменных потоков) / Материалы 10-го междунар. науч.-практ. конф. Конф. «Взаимодействие излучения с твердыми телами». Минск. 2013. С. 226-228.

3. Калиниченко В.А. Калиниченко А.С. Износостойкие IN-SITU композиционные материалы для подшипников скольжения. Материалы IX МНПК Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях. Саратов. Амирит. 2022. С.484-487.

© Калиниченко В.А., Калиниченко А.С., 2023
