

УДК 621.793

Формирование покрытий системы Ti-Cu-Ni методом сварки взрывом с последующей лазерной обработкой

Богданов Артем Игоревич^(*)

bogdanov@vstu.ru

Кулевич Виталий Павлович

kulevich.vp@gmail.com

Шморгун Виктор Георгиевич

vgshmorgun@mail.ru

ВГТУ, Волгоград, Россия

Аннотация. Исследовано влияние толщины медно-никелевого сплава МН19, нанесенного на поверхность титана ВТ1-0 методом сварки взрывом, и основных параметров последующей лазерной обработки (мощности излучения и скорости перемещения лазерной головки) на структуру и свойства покрытий системы Ti-Cu-Ni. Выявлено, что основными структурными составляющими покрытия, полученного на режимах лазерной обработки, обеспечивающих мелкодисперсную структуру зоны переплава со средним содержанием титана ~ 50 ат. %, являются структурно свободные твердые растворы на основе интерметаллидов Ti_2Cu и $TiCu$. Износостойкость таких покрытий при комнатной температуре в 2,5, а при 600 °C в 1,5 раза превышает износостойкость титана.

Ключевые слова: титан, медно-никелевый сплав, сварка взрывом, лазерная обработка, покрытие, износостойкость

Formation of Ti-Cu-Ni coatings by explosion welding with subsequent laser processing

Bogdanov Artem Igorevich^(*)

bogdanov@vstu.ru

Kulevich Vitaly Pavlovich

kulevich.vp@gmail.com

Shmorgun Viktor Georgievich

vgshmorgun@mail.ru

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

Abstract. The effect of the copper-nickel alloy MN19 thickness, applied to the surface of titanium VT1-0 by explosive welding, and the parameters of subsequent laser processing (radiation power, spot diameter, laser head speed) on the structure and properties of Ti-Cu-Ni coatings was studied. It was found that the main structural components of the coating obtained in laser processing modes providing a finely dispersed structure of the remelting zone with an average titanium content of ~ 50 at. %, are structurally free solid solutions based on Ti_2Cu and $TiCu$ intermetallics. The wear resistance of such coatings at room temperature is in 2.5 times, and at 600°C in 1.5 times higher than that of titanium.

Keywords: titanium, copper-nickel alloy, explosive welding, laser processing, coating, wear resistance

Введение. На современном этапе развития техники и технологии особое внимание уделяется новым методам поверхностного легирования, в основе которых лежит использование локальных источников нагрева. При этом предпочтение отдается таким методам, которые используют в качестве теплового источника концентрированные источники энергии [1]: лазерные, ионные, ультразвуковые и т. п. Система Cu–Ti используется для создания износостойких покрытий на поверхности медных [2–4] и титановых сплавов [5, 6]. Физико-механические свойства таких покрытий, их состав и структура, как правило, определяются технологией получения. В работах [4, 6] показано, что одним из перспективных способов получения покрытий системы Ti–Cu является предварительное нанесение на поверхность титана с помощью сварки взрывом и обработки давлением тонкого слоя меди и последующее его проплавление совместно с основой лазерным лучом. Такой способ поверхностного легирования позволяет получать плотные беспористые покрытия на основе купридов титана твердостью 5–6 ГПа. Недостатком бинарных купридов титана является низкая пластичность. Ее увеличение можно обеспечить легированием никелем [7]. В настоящей работе изучали структуру и абразивную стойкость покрытий системы Ti–Cu–Ni, полученных с применением комбинированной технологии, включающей сварку взрывом (СВ) и последующую лазерную обработку (ЛО).

Материалы и методы. Образцы для исследования были получены из сваренных взрывом листов биметалла медно-никелевый сплав МН19 + титан ВТ1-0. Сварка сплава МН19 (1,0 мм) с титаном ВТ1-0 (5,0 мм) проводилась по плоскопараллельной схеме на экспериментально выявленных режимах, обеспечивающих минимальный уровень структурной и химической микронегоднородности на межслойной границе. Толщину сплава МН19 в составе биметалла изменяли с помощью прокатки на стане «ДУО» (диаметр валков 130 мм) без подогрева, натяжения и правки. Конечная толщина плакировки (h) перед ЛО составляла 0,2–0,8 мм. ЛО проводили на установке ТЛ 1200. Ее максимальная мощность 1400 Вт. Скорость перемещения лазерной головки (V) изменяли от 0,5 до 0,8 м/мин при диаметре пятна (d) 1–4 мм. В зоне обработки выделяли зону переплава (ЗП), соответствующую основному объему покрытия, переходную зону (ПЗ) и зону термического влияния (ЗТВ).

Металлографические исследования осуществляли с применением оптической (Olympus BX-61) и электронной микроскопии (Versa 3D Dual Beam). Рентгеноспектральный анализ химического состава проводился на электронном микроскопе с помощью детектора Apollo X Silicon Drift Detector (SDD).

Испытания на абразивное изнашивание проводили на установке — аналоге машины Х4-Б при статической нагрузке 3,5 Н. Относительную износостойкость покрытий, оценивали по формуле:

$$\varepsilon = \Delta G_3 / \Delta G_{\text{и}}, \quad (1)$$

где ΔG_3 — потеря массы эталона (титан ВТ1-0), г; $\Delta G_{\text{и}}$ — потеря массы образца с покрытием, г.

Результаты и их обсуждение. Металлографический анализ показал, что в исследованном диапазоне мощности излучения и скорости перемещения лазерной головки диаметр пятна контакта влияет на ширину, симметрию ЗП и профиль ее поверхности. При прочих равных условиях его значение в 2 мм обеспечивает симметричную ЗП и ровную поверхность покрытия. Для формирования ЗП толщина медно-никелевого слоя при ЛО не должна превышать 0,4–0,5 мм, а величина перекрытия предыдущей ЗП ~ 40 %.

Анализ результатов, полученных при проведении металлографических исследований, энергодисперсионного и рентгеноструктурного анализа ЗП, сформированных при мощности излучения 900 Вт и различных скоростях перемещения лазерной головки ($d = 2$ мм, $h \approx 0,2$ мм) показал, что структура в виде однородной, мелкодисперсной смеси интерметаллидных фаз $\text{TiCu}_2(\text{Ni})$, $\text{TiCu}(\text{Ni})$, с хлопьевидными включениями $\alpha\text{-Ti}$ обеспечивается при $V = 0,5$ м/мин (рис. 1). При этом среднее значение содержания титана по сечению ЗП (рис. 1, в) ~ 50 ат. %. Структура ПЗ представлена интерметаллидом $\text{Ti}_2\text{Cu}(\text{Ni})$ с игольчатыми включениями $\text{TiCu}(\text{Ni})$.

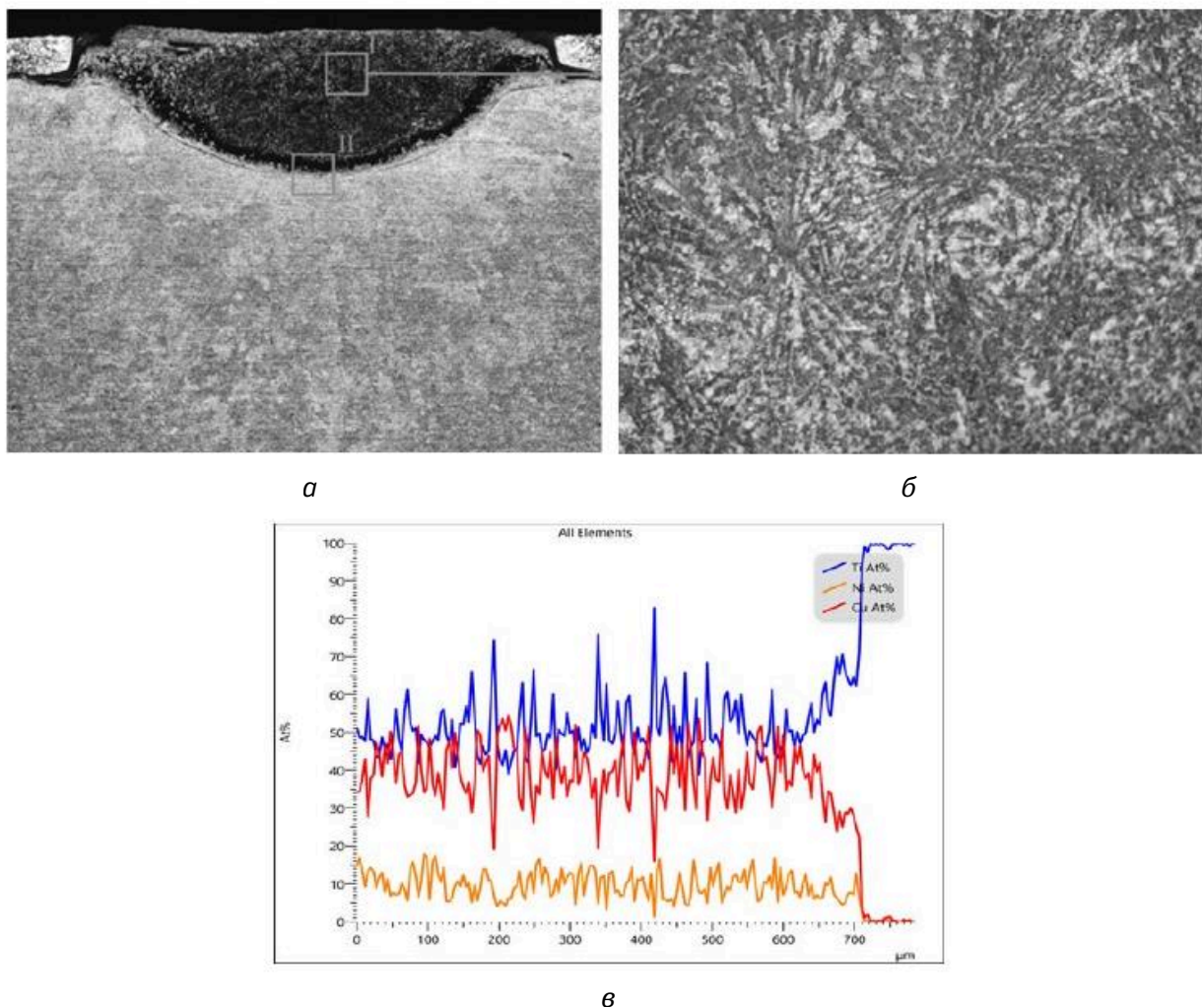


Рис. 1. Структура ЗП ($P = 900$ Вт, $V = 0,5$ м/мин, $d = 2$ мм, $h = 0,2$ мм) и распределение химических элементов в ее поперечном сечении

Увеличение мощности до 1400 Вт ($V = 0,5$ м/мин, $h = 0,2$ мм, $d \approx 2$ мм) обеспечило глубину проплавления сплава ВТ1-0 $\sim 1,1$ мм. Из-за большего содержания титана в ЗП изменился ее состав и увеличился размер интерметаллидных фаз $Ti_2Cu(Ni)$ и $TiCu(Ni)$ (рис. 2). Распределение химических элементов в поперечном сечении ЗП осталось достаточно равномерным при среднем содержании титана около 70 ат % (рис. 2, в).

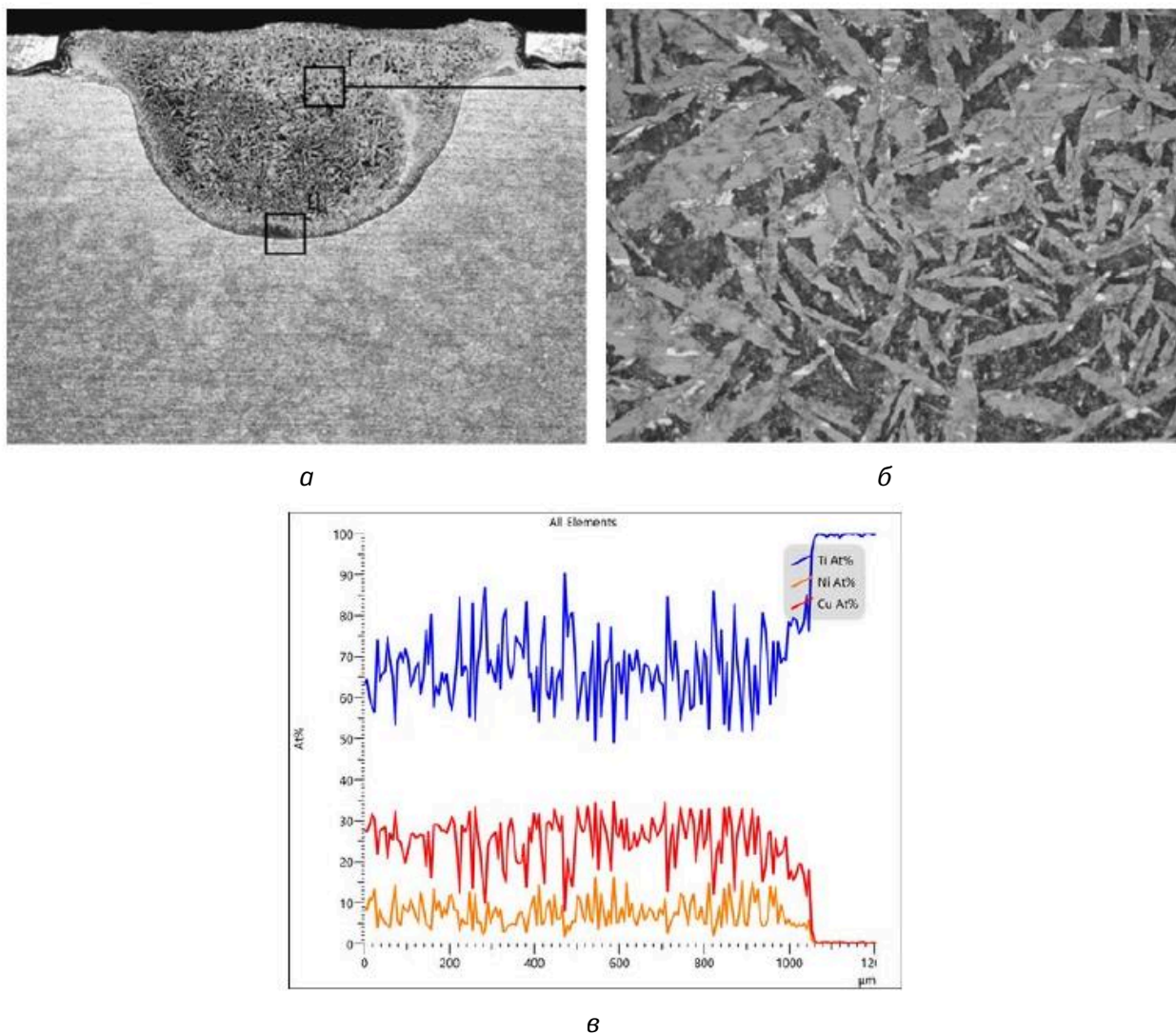


Рис. 2. Структура ЗП ($P = 1400$ Вт, $V = 0,5$ м/мин, $h \approx 0,2$ мм, $d = 2$ мм) и распределение химических элементов в ее поперечном сечении

Увеличение скорости перемещения лазерной головки до 0,8 м/мин позволило получить более мелкодисперсную структуру ЗП глубиной $\sim 0,95$ мм (рис. 3). Анализ показал соответствие состава ЗП, полученному ранее на режимах ($P = 900$ Вт, $V = 0,5$ м/мин, $h \approx 0,2$ мм, $d = 2$ мм). Распределение химических элементов по сечению ЗП (рис. 3, в) также достаточно равномерное при содержании титана ~ 50 ат. %.

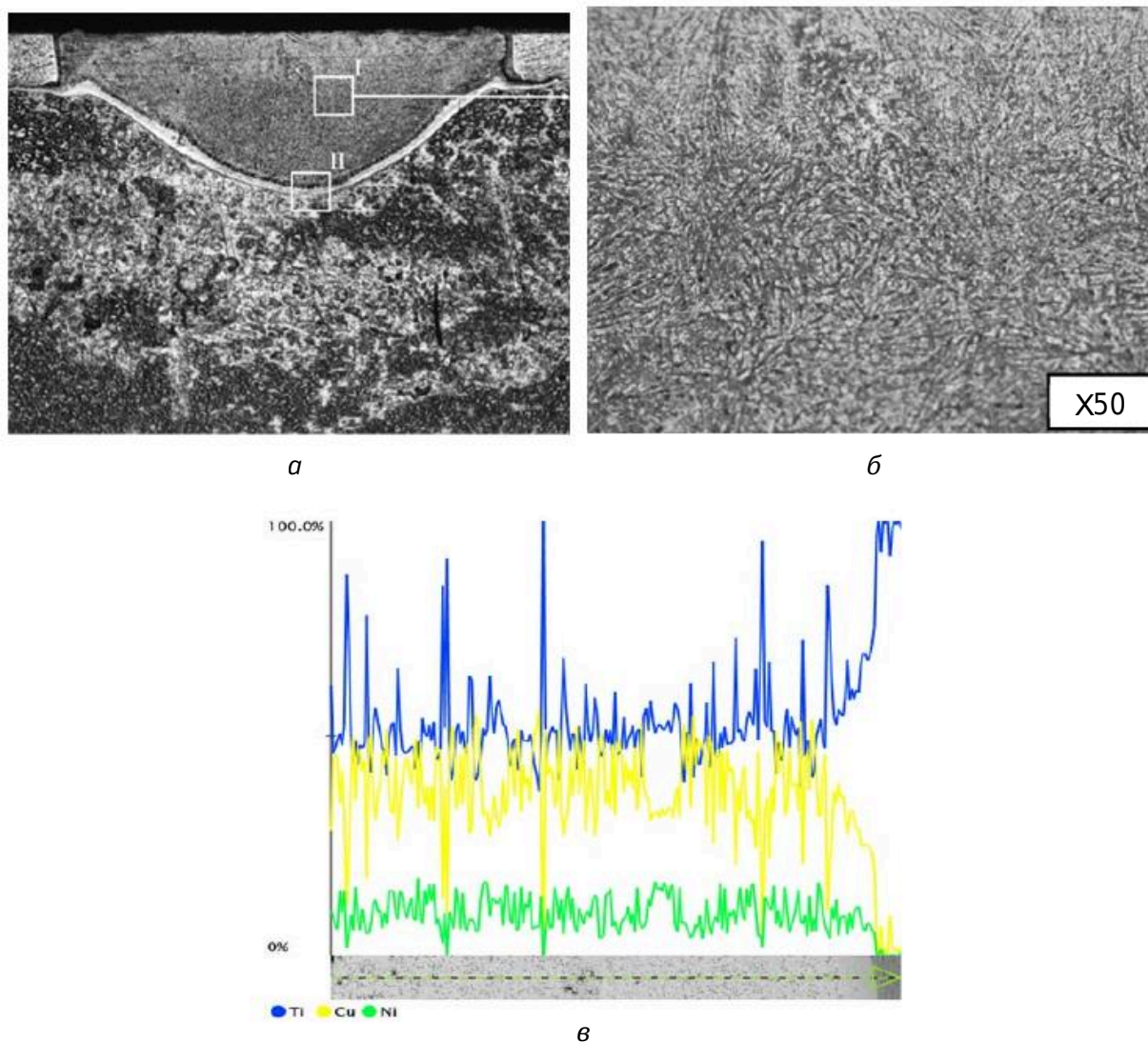


Рис. 3. Структура ЗП ($P = 1400$ Вт, $V = 0,8$ м/мин, $h \approx 0,2$ мм $d = 2$ мм) и распределение химических элементов в ее поперечном сечении

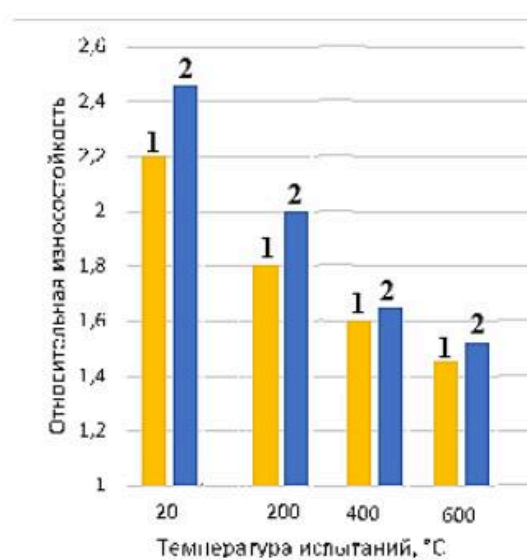


Рис. 4. Относительная износостойкость покрытий системы Ti–Cu–Ni со средним содержанием титана: 70 (1) и 50 (2) ат. %

Испытания образцов с покрытиями системы Ti-Cu-Ni показали, что наибольшие значения абразивной износостойкости реализуются при мелко-дисперсной структуре со средним содержанием титана ~ 50 ат. % (рис. 4).

Заключение. В исследованном диапазоне мощности излучения и скорости перемещения лазерной головки диаметр пятна контакта влияет на ширину, симметрию ЗП и профиль ее поверхности. При прочих равных условиях его значение в 2 мм обеспечивает симметричную ЗП и ровную поверхность покрытия. Для формирования ЗП толщина медно-никелевого слоя при ЛО не должна превышать 0,4–0,5 мм, а величина перекрытия предыдущей ЗП ~ 40 %.

Основными структурными составляющими покрытия системы Ti-Cu-Ni, полученного с использованием сварки взрывом и последующей лазерной обработки на режимах, обеспечивающих мелкодисперсную структуру зоны переплава со средним содержанием титана ~50 ат. %, являются структурно свободные твердые растворы на основе интерметаллидов $Ti_2Cu(Ni)$ и $TiCu(Ni)$. Износостойкость таких покрытий при комнатной температуре в 2,5, а при 600 °C в 1,5 раза превышает износостойкость титана.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-29-20030 и гранта администрации Волгоградской области.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] Kruth J.-P., Levy G., Klocke F., Childs T.H. Consolidation phenomena in laser and powder-bed based layer in manufacturing. CIRP Annals — Manufacturing Technology, 2007, vol. 56, iss. 2, pp. 730–759.
- [2] Bateni M.R. The effect of novel Ti-Cu intermetallic compound coatings on tribological properties of copper. The Annals of University of Galati, 2003, vol. 24, art. no. 26.
- [3] Radek N. Experimental investigations of the Cu-Mo and Cu-Ti electro-spark coatings modified by laser beam. Advances in Manufacturing Science and Technology, 2008, vol. 32, no. 2, pp. 53–68.
- [4] Шморгун В.Г., Слаутин О.В., Евстропов Д.А. Влияние режимов контактного плавления на структуру и свойства покрытий системы медь – титан. *Металлург*, 2016, № 6, с. 83–86.
- [5] Морозова Е.А., Муратов В.С. Лазерное легирование поверхности титана хромом и медью. *Фундаментальные исследования*, 2007, № 8, с. 64–65.
- [6] Шморгун В.Г., Слаутин О.В., Серов А.Г., Харламов В.О., Кайгородов А.С. Формирование покрытий на основе купридов титана методом сварки взрывом с последующей лазерной обработкой. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2020, № 6 (780), с. 33–39.
- [7] Колпачева О.В. *Электронная энергетическая структура тетрагональных купридов титана и сплавов Cu-Ti-Ni*. Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Ростов-на-Дону, 2007, 22 с.