

УДК 669.716:621.785

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-6-289-19-24

*В. Г. Шморгун, О. В. Слаутин, С. А. Кузнецов, М. В. Крохалев*

**ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ БИМЕТАЛЛА ВТ1-0+МН19  
НА СТРУКТУРУ И МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВАННЫ ПЕРЕПЛАВА\***

**Волгоградский государственный технический университет**

e-mail: mv@vstu.ru

Установлено, что при лазерной обработке биметалла медно-никелевый сплав МН19 + титан ВТ1-0 режим с мощностью  $P = 1400$  Вт и скоростью перемещения лазерного луча  $0,8$  м/мин при его диаметре  $2$  мм обеспечивает оптимальные характеристики ванны переплава по твердости и однородности структуры.

Показано, что однородная по структуре ванна переплава обеспечивается при удельной энергии излучения  $52,52$  Дж/мм<sup>2</sup>. При этом прирост микротвердости ванны переплава на  $1$  ГПа при увеличении скорости перемещения лазерного луча и уменьшении диаметра пятна объясняется увеличением ее скорости охлаждения.

*Ключевые слова:* титан, медно-никелевый сплав, лазерная обработка, покрытия, куприды титана

---

© Шморгун В. Г., Слаутин О. В., Кузнецов С. А., Крохалев М. В., 2024.

\* Исследование выполнено за счет средств программы развития ВолгГТУ «Приоритет 2030», в рамках научного проекта № 16/636-24

**V. G. Shmorgun, O. V. Slautin, S. A. Kuznetsov, M. V. Krohalev**  
**INFLUENCE OF LASER PROCESSING MODES**  
**OF VT1-0+MN19 BIMETAL ON THE STRUCTURE**  
**AND MICROMECHANICAL PROPERTIES OF THE REMELT BATHS**

**Volgograd State Technical University**

It has been established that during laser processing of a bimetal copper-nickel alloy MN19 + titanium VT1-0 mode with a power  $P = 1400$  W and a laser beam speed of 0.8 m/min with a diameter of 2 mm provides optimal characteristics of the remelting bath in terms of hardness and uniformity of structure.

It has been shown that a remelting bath with a homogeneous structure is ensured at a specific radiation energy of 52.52 J/mm<sup>2</sup>. In this case, an increase in the microhardness of the remelting bath by 1 GPa with an increase in the speed of movement of the laser beam and a decrease in the diameter of the spot is explained by an increase in its cooling rate.

**Keywords:** titanium, copper-nickel alloy, laser processing, coatings, titanium cuprids

Для улучшения износостойкости титана и, соответственно, расширения областей его применения используются различные технологии нанесения покрытий на его поверхности: плазменное напыление, ионно-плазменное осаждение, магнетронное распыление, диффузионные методы и т. д. Выбор метода зависит от требуемых свойств покрытия (толщина, адгезия, коррозионная стойкость, усталостная прочность и ряд других характеристик). Одним из перспективных методов улучшения износостойкости титана является лазерная обработка. Она позволяет создавать на поверхности титана покрытия заданной толщины, состава и свойств, а также, ввиду больших скоростей нагрева и охлаждения, минимизировать негативное влияние длительного воздействия повышенных температур на титановую основу [1–5].

Целью настоящей работы явилось исследование влияния режимов лазерной обработки биметалла VT1-0+MN19 на структуру и микромеханические свойства ванны переплава.

#### **Материалы и методы исследования**

Исходными для исследования служили сваренные взрывом и прокатанные образцы биметалла сплав MN19 (0,2 мм) + титан VT1-0 (2 мм). Лазерную обработку проводили со стороны спла-

ва MN19 на установке ТЛ 1200 при следующих режимах: скорость перемещения лазерной головки 0,4–1,2 м/мин, диаметр пятна 2 и 4 мм, мощность лазерного излучения 1400 Вт. Металлографические исследования выполняли на модульном металлографическом микроскопе Олимпус ВХ-61. Фазовый состав ванны переплава оценивали при помощи энергодисперсионного анализа на двухлучевом сканирующем электронном микроскопе Versa3D DualBeam. Микротвердость полученных покрытий определяли на приборе ПМТ-3М. Удельная энергия рассчитывалась по формуле:

$$E = \frac{P}{d \cdot V},$$

где  $E$  – удельная энергия (Дж/мм<sup>2</sup>),  $P$  – мощность излучения, Вт;  $d$  – диаметр луча, мм;  $V$  – скорость движения лазерного луча, мм/с.

#### **Результаты и их обсуждение**

Металлографический анализ ванн переплава, полученных при лазерной обработке с постоянным диаметром пучка (4 мм) и мощностью лазерного излучения (1400 Вт), и изменяющейся от 0,9 до 1,2 м/мин скоростью движения лазерного луча показал неоднородность их структуры (рис. 1). Подтверждением этого является достаточно большой разброс по значениям микротвердости (рис. 2).



*a*



*б*

Рис. 1. Микроструктура ванн переплава ( $d = 4$  мм,  $P = 1400$  Вт) со скоростью движения лазерного луча (см. также с. 21): *a* – 0,9 м/мин; *б* – 1,0 м/мин; *в* – 1,1 м/мин; *г* – 1,2 м/мин

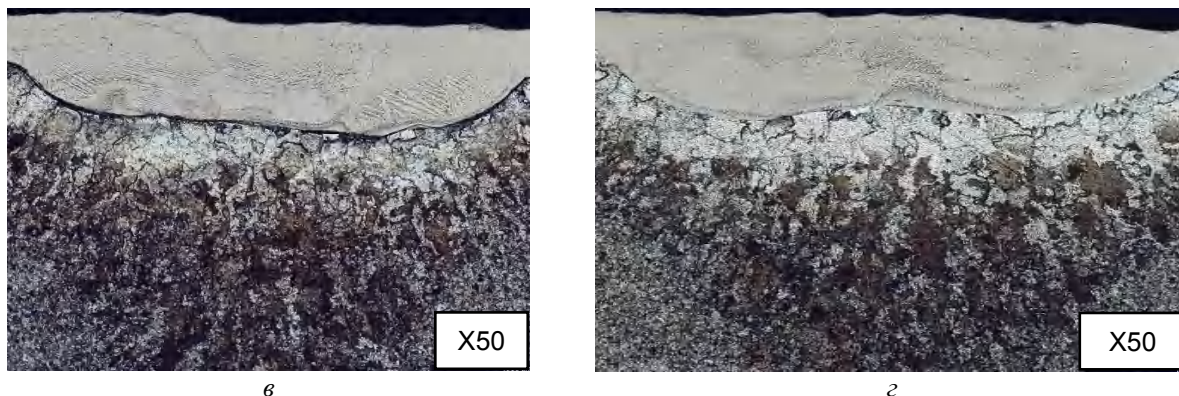
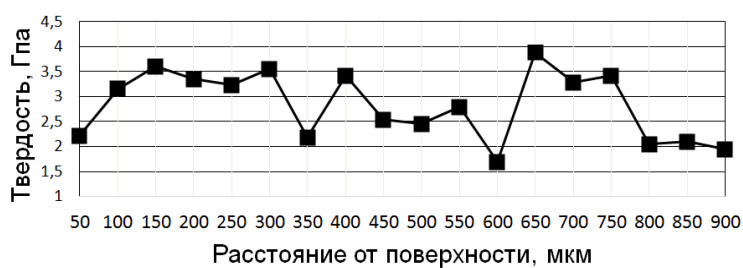
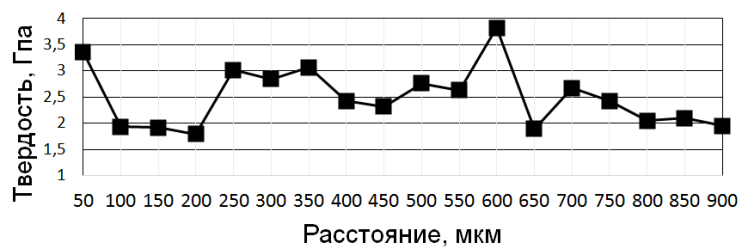


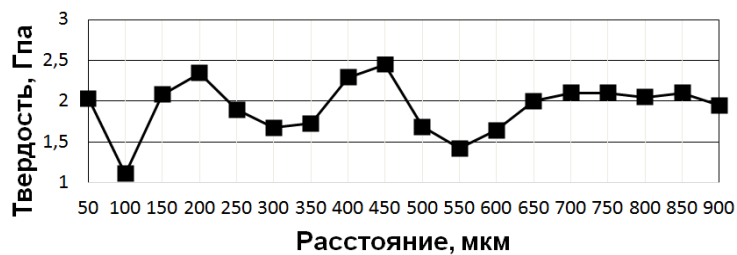
Рис. 1. Окончание



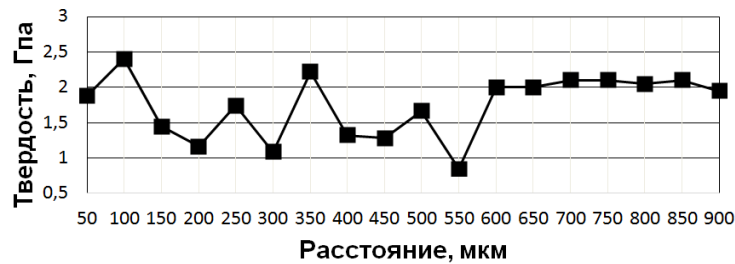
*a*



*б*



*в*



*г*

Рис. 2. Распределение микротвердости в поперечном сечении ванн переплава ( $d = 4$  мм,  $P = 1400$  Вт) со скоростью движения лазерного луча:  
*a* – 0,9 м/мин; *б* – 1,0 м/мин; *в* – 1,1 м/мин; *г* – 1,2 м/мин

Увеличение удельной энергии в два раза ( $52,52 \text{ Дж/мм}^2$ ), путем уменьшения скорости движения лазерного луча до  $0,4 \text{ м/мин}$  привело к росту глубины ванны переплава до  $1,5 \text{ мм}$  и образованию более однородной структуры,

состоящей из крупных интерметаллидных включений в титановой матрице (рис. 3). Микротвердость в поперечном сечении ванны переплава при этом изменяется в пределах от  $2,6$  до  $3,6 \text{ ГПа}$  (рис. 4).

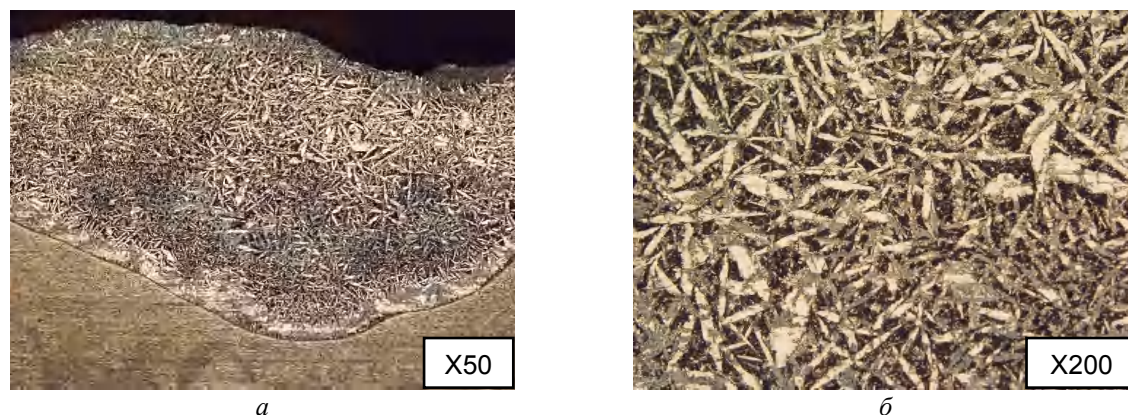


Рис. 3. Микроструктура ванны переплава ( $d = 4 \text{ мм}$ ,  $P = 1400 \text{ Вт}$ ,  $V = 0,4 \text{ м/мин}$ )

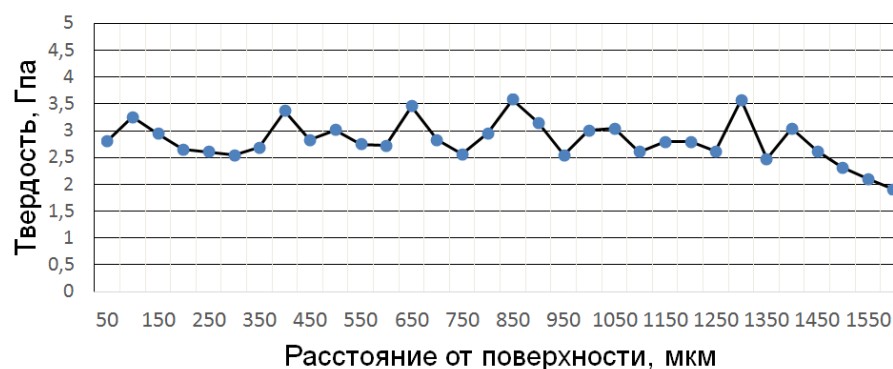


Рис. 4. Распределение микротвердости в поперечном сечении ванны переплава ( $d = 4 \text{ мм}$ ,  $P = 1400 \text{ Вт}$ ,  $V = 0,4 \text{ м/мин}$ )

Уменьшение диаметра пучка до  $2 \text{ мм}$ , при сохранении удельной энергии  $52,52 \text{ Дж/мм}^2$  за счет увеличения скорости движения лазерного луча до  $0,8 \text{ м/мин}$ , позволило также получить однородную по структуре ванну переплава (рис. 5) но большей твердости (рис. 6), чем при

диаметре пучка  $4 \text{ мм}$ . Глубина ванны переплава составила  $850 \text{ мкм}$ . Замеры микротвердости в поперечном сечении ванны переплава показали ее достаточно равномерное распределение (от  $3,5$  до  $4,5 \text{ ГПа}$ ).

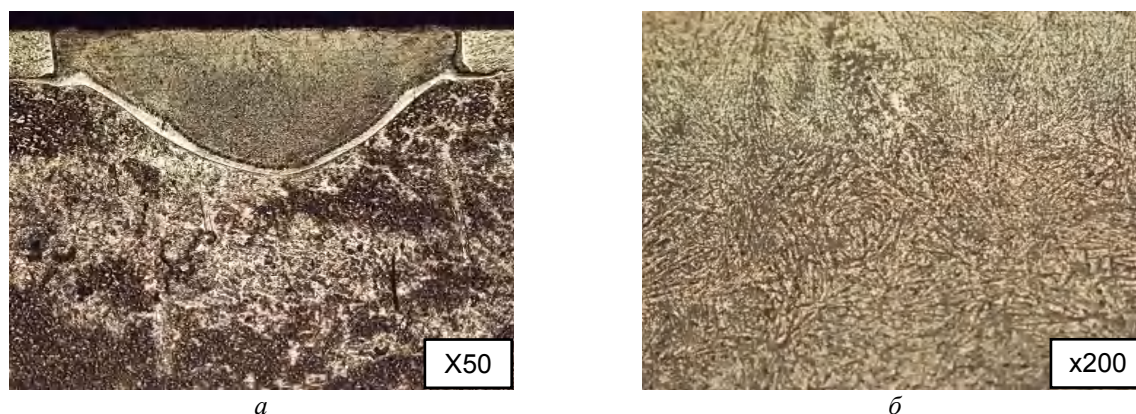


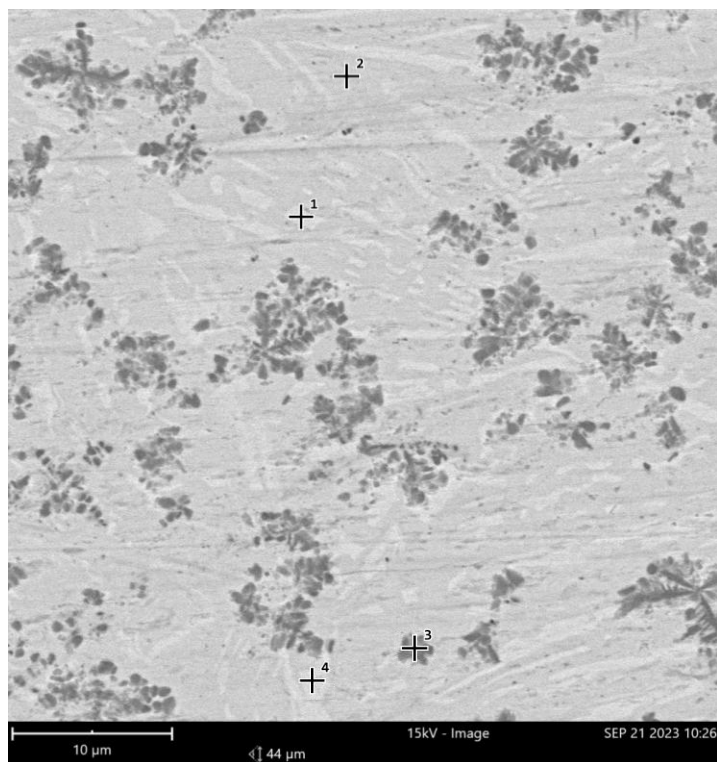
Рис. 5. Микроструктура ванны переплава ( $d = 2 \text{ мм}$ ,  $P = 1400 \text{ Вт}$ ,  $V = 0,8 \text{ м/мин}$ )



Рис. 6. Распределение микротвердости в поперечном сечении ванны переплава ( $d = 2$  мм,  $P = 1400$  Вт,  $V = 0,8$  м/мин)

Результаты СЭМ и энергодисперсионного анализа показали, что микроструктура ванны переплава полученная на режимах ( $d = 2$  мм,  $P = 1400$  Вт,  $V = 0,8$  м/мин), представляет собой

мелко дисперсионную смесь интерметаллидных фаз  $TiCu$ ,  $Ti_2Cu$  и  $TiCu_2$  легированных никелем с дендритными включениями  $\alpha$  твердого раствора меди и никеля в титане (рис. 7).



| Точка 1        |              |              |                        |
|----------------|--------------|--------------|------------------------|
| Element Symbol | Atomic Conc. | Weight Conc. | Phase Symbol           |
| Cu             | 53.79        | 59.84        | TiCu <sub>2</sub> (Ni) |
| Ti             | 38.65        | 32.39        |                        |
| Ni             | 7.57         | 7.78         |                        |
| Точка 2        |              |              |                        |
| Element Symbol | Atomic Conc. | Weight Conc. | Phase Symbol           |
| Ti             | 53.19        | 46.75        | Ti <sub>2</sub> Cu(Ni) |
| Cu             | 31.42        | 36.66        |                        |
| Ni             | 15.39        | 16.58        |                        |
| Точка 3        |              |              |                        |
| Element Symbol | Atomic Conc. | Weight Conc. | Phase Symbol           |
| Ti             | 86.41        | 82.73        | α-Ti                   |
| Cu             | 13.59        | 17.27        |                        |
|                |              |              |                        |
| Точка 4        |              |              |                        |
| Element Symbol | Atomic Conc. | Weight Conc. | Phase Symbol           |
| Cu             | 53.56        | 59.59        | TiCu <sub>2</sub> (Ni) |
| Ti             | 38.56        | 32.31        |                        |
| Ni             | 7.88         | 8.10         |                        |

Рис. 7. СЭМ-изображение и результаты энергодисперсионного анализа микроструктуры ванны переплава

### Выводы

1. Эмпирическим путем установлен режим непрерывной лазерной обработки с оптимальными характеристиками ванны переплава по твердости и однородности структуры. Это режим с мощностью  $P = 1400$  Вт и скоростью перемещения лазерного луча  $0,8$  м/мин при его диаметре  $2$  мм.

2. Выявлено, что однородная по структуре ванна переплава в исследованных образцах обес-

печивается при удельной энергии излучения  $52,52$  Дж/мм<sup>2</sup>. При этом прирост микротвердости ванны переплава на  $1$  ГПа при увеличении скорости перемещения лазерного луча и уменьшении диаметра пятна объясняется увеличением ее скорости охлаждения.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Серов, А. Г. Structural Formation in the Zone of Interaction under Laser Processing of Bimetal M1 + VT1-0 /

А. Г. Серов, О. В. Слаутин, Д. В. Проничев // Solid State Phenomena. Vol. 299 : Materials Engineering and Technologies for Production and Processing V / ed. by A. A. Radionov. – Switzerland : Trans Tech Publications Ltd (Scientific.Net), 2020. – P. 772-777. – URL : <https://www.scientific.net/SSP.299>.

2. Шморгун, В. Г. Structure and properties of intermetallic coatings formed by laser alloying of a titanium surface with copper / В.Г. Шморгун, О.В. Слаутин, А.Г. Серов // Materials Today: Proceedings. Vol. 25, part 3 : III All-Russian Conference (with International Participation) Hot Topics of Solid State Chemistry : From New Ideas to New Materials (Novosibirsk, Russia, October 1-5, 2019) / ed. by T. Shakhtshneider [et al.] ; Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, Novosibirsk State University. – [Publisher: Elsevier], 2020. – P. 493-496. – URL : <https://www.sciencedirect.com/journal/materials-today-proceedings/vol/25/part/P3>.

3. Шморгун, В. Г. Formation of coatings based on titanium cuprides by explosive welding with subsequent laser treatment / В.Г. Шморгун, О.В. Слаутин, А.Г. Серов, В.О. Харламов, А.С. Кайгородов // Metal Science and Heat Treatment. - 2020. - Vol. 62, No. 5-6 (September). – P. 387-392. – DOI: 10.1007/s11041-020-00572-7.

4. Шморгун, В. Г. Локальное легирование титана медью / В. Г. Шморгун, О. В. Слаутин, А. Г. Серов, Р. Е. Новиков // Известия ВолгГТУ № 2 (237) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). – С. 12–16.

5. Шморгун, В. Г. Процесс структурообразования в зоне взаимодействия при лазерной обработке биметалла ВТ1-0+М1 / В. Г. Шморгун, О. В. Слаутин, А. Г. Серов, Н. В. Кривченко // Известия ВолгГТУ № 3 (213) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2018. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). – С. 26–30.