

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

УДК 621.791.044+621.771:669.018.95
DOI: 10.35211/1990-5297-2020-6-241-6-14

В. Н. Арисова, Л. М. Гуревич, В. О. Харламов, Д. Д. Твердышева, В. А. Изюмский

ФОРМИРОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНОГО ТИТАНОСТАЛЬНОГО ИНТЕРМЕТАЛЛИДНОГО КОМПОЗИТА

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: mv@vstu.ru

В работе приведены результаты исследований по формированию интерметаллидных прослоек в пяти-слойном сваренном взрывом композите титан VT-20+сталь 08X18N10T после термической обработки при температурах 800, 850 и 900 °С и временах выдержки 4 и 10 часов. Изучены структура, микротвердость, химический состав диффузионных зон композита с использованием оптической, электронной микроскопии и рентгеноспектрального анализа.

Ключевые слова: титаностальной интерметаллидный композит, сварка взрывом, термическая обработка, диффузионные зоны, микроструктура, химический состав, микротвердость.

V. N. Arisova, L. M. Gurevich, V. O. Kharlamov, D. D. Tverdysheva, V. A. Izyumsky

FORMATION OF A MULTI-LAYERED TITANO-STEEL INTERMETALLIC COMPOSITE

Volgograd State Technical University

The work presents the results of studies on the formation of intermetallic layers in a five-layer explosion-welded composite titanium VT-20+steel 08Cr18Ni10Ti after heat treatment at temperatures of 800, 850 and 900 °C and holding times of 4 and 10 hours. The structure, microhardness, chemical composition of the diffusion zones of the composite were studied using optic, electron microscopy and X-ray spectral analysis.

Keywords: titanostal intermetallic composite, explosion welding, heat treatment, diffusion zones, microstructure, chemical and phase.

Введение

Технологический процесс изготовления заготовок, деталей и узлов из титаностальных КМ с использованием сварки взрывом (СВ) имеет целый ряд особенностей, открывающих широкое поле исследовательской деятельности для материаловедов и технологов [1, 2]. Из огромного числа работ, посвященных системе титан-сталь, немалое количество – о влиянии режимов и условий технологических операций на качество, структуру и свойства получаемого композита и изделий из него.

Выбор параметров одновременной СВ многослойных композиций практически из любых промышленных разнородных металлов и сплавов не представляет особых сложностей. Разра-

ботанный математический аппарат [1] и применение вычислительной техники позволяют рассчитывать требуемые значения скоростей контакта и соударения, энергии пластической деформации на межслойных границах, гарантирующих реализацию равнопрочности сварных соединений. Применяемые методики расчета оптимальных параметров СВ позволяют учитывать физико-химические и механические свойства свариваемых металлов, число и толщину слоев, конструкцию и жесткость основания, геометрические и детонационные характеристики применяемых взрывчатых веществ

В слоистых металло-интерметаллидных композитах (СМИК), получаемых с помощью комплексной технологии, включающей СВ и терми-

ческую обработку, металлические слои, контактирующие с хрупкой интерметаллидной прослойкой, увеличивают пластичность композита при комнатной температуре, а тонкие интерметаллидные слои обеспечивают высокие значения предела прочности и предела текучести при повышенных температурах. Значительное влияние на диффузионные процессы оказывает структура и накопленная деформация в околошовной зоне сварных соединений в состоянии после СВ и легирующие элементы, входящие в стали, свариваемые с титаном [1–3].

В [4–5] приведены результаты исследований структуры и свойств пятислойного слоистого композиционного материала (СКМ) состава титан ВТ-20+сталь 08Х18Н10Т после СВ.

В [6] изучено протекание процессов диффузии на границах пятислойного титаностального композита ВТ-20+сталь 08Х18Н10Т при температурах 800, 850 и 900 °С и времени выдержки 1 час. Однако такая длительность термической обработки не позволяет достичь объемной доли интерметаллидных прослоек, необходимой для успешной реализации высокой жаропрочности, возможной у СММК.

Данная работа является продолжением исследований по формированию многослойного

интерметаллидного композита ВТ-20+сталь 08Х18Н10Т при вышеуказанных температурах с увеличением времени выдержки от 4 до 10 часов.

Материалы и методы исследования

СВ производили по одновременной плоскопараллельной схеме: трех титановых (1,2 мм) и двух стальных (1 мм) слоев. Термическую обработку осуществляли в печи SNOL 8.2/1100 при температурах 800, 850 и 900 °С и временах выдержки 4 и 10 час.

Микроструктуру исследовали на оптическом световом микроскопе «Olympus BX61» и растровом двухлучевом электронно-ионном микроскопе системы Versa3D DualBeam, который снабжен энергодисперсионным спектрометром INCA X-Max (Oxford Instruments) для определения химического состава. Измерение микротвердости проводили на приборе ПМТ-3М при нагрузке на индентор 1,0 Н.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1, 2 приведены микроструктуры границ зон соединения после отжига при температурах 800, 850 и 900 °С при времени выдержки 4 ч (рис. 1) и 10 ч (рис. 2).

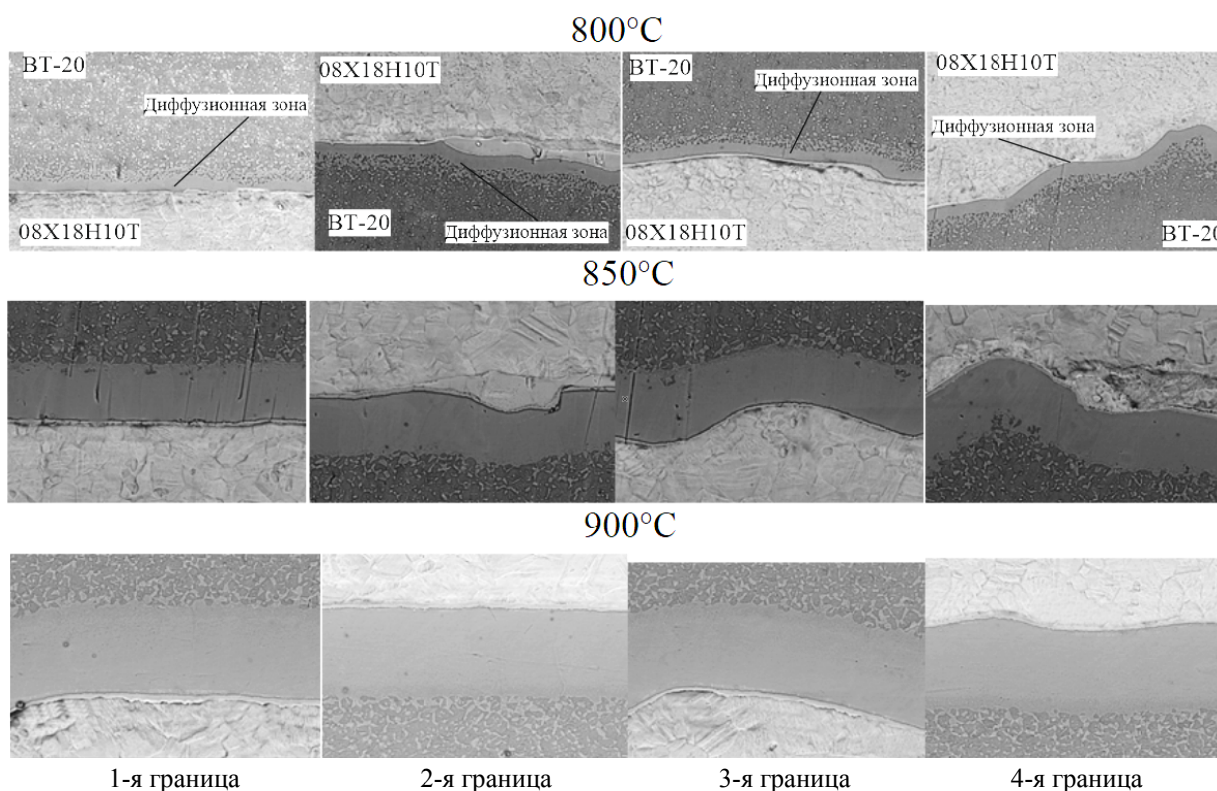


Рис. 1. Микроструктуры зон соединения пятислойного СММК ВТ20+08Х18Н10Т после различных температур при отжиге с выдержкой 4 часа, $\times 2000$

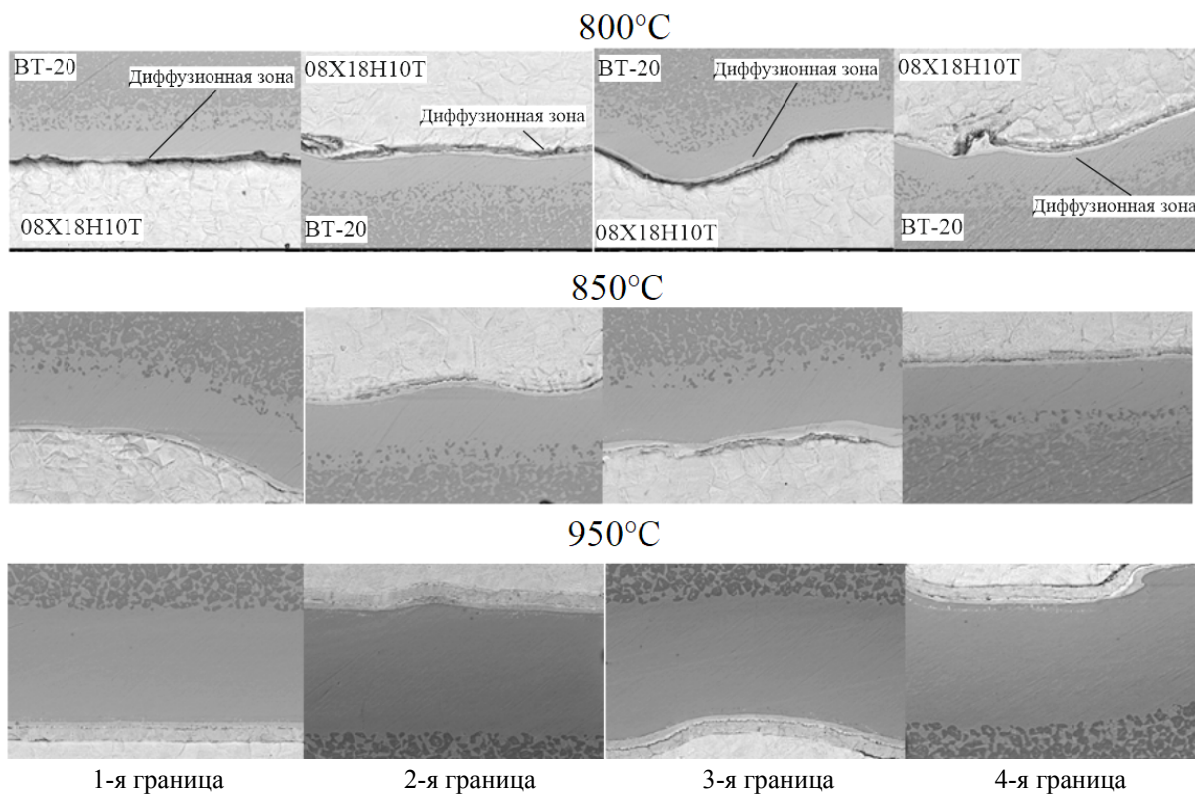


Рис. 2. Микроструктуры зон соединения пятислойного СММК VT20+08X18H10T после различных температур при отжиге с выдержкой 10 часов, $\times 2000$

Анализ микроструктур (рис. 1 и 2) показал, что с увеличением температуры на всех границах происходит диффузия преимущественно в VT-20. При повышении температуры увеличивается толщина диффузионной зоны, которая при времени выдержки 4 ч состоит из двух

прослоек: первой – тонкой, прилегающей к стали и второй – значительно большей толщины; при времени выдержки 10 ч диффузионная зона состоит из трех прослоек – широкой и двух тонких (рис. 3).

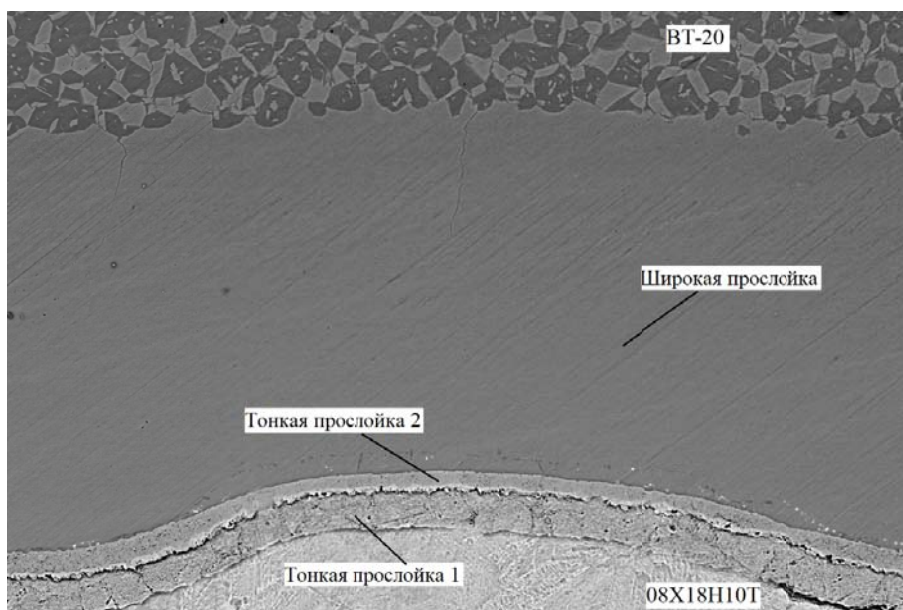


Рис. 3. Вид диффузионной зоны при времени выдержки 10 часов, состоящей из трех прослоек

При выдержке 4 часа тонкая прослойка имеет толщину ~ 1 мкм при температуре отжига 800 °С, 2 мкм при температуре 850 °С и увеличивается до 4 мкм при температуре 900 °С. Толщина широкой прослойки варьируется от 10–14 мкм при температуре 800 °С до 50–60 мкм при 900 °С (рис. 4, б), что ~ на 30–35 мкм больше, чем при времени выдержки 1 час (рис. 4, а). Увеличение времени вы-

держки до 10 ч привело к появлению третьей, тонкой прослойки 2 (рис. 3) толщиной 3 мкм, 4 мкм и 6 мкм при 800, 850 и 900 °С соответственно при одновременном увеличении толщины всей диффузионной зоны: тонкая прослойка 1 достигает размеров 6 мкм, 5 мкм и 12 мкм, а широкая – 21 мкм, 38 мкм и 117 мкм, при 800, 850, 900 °С соответственно (рис. 4, в).

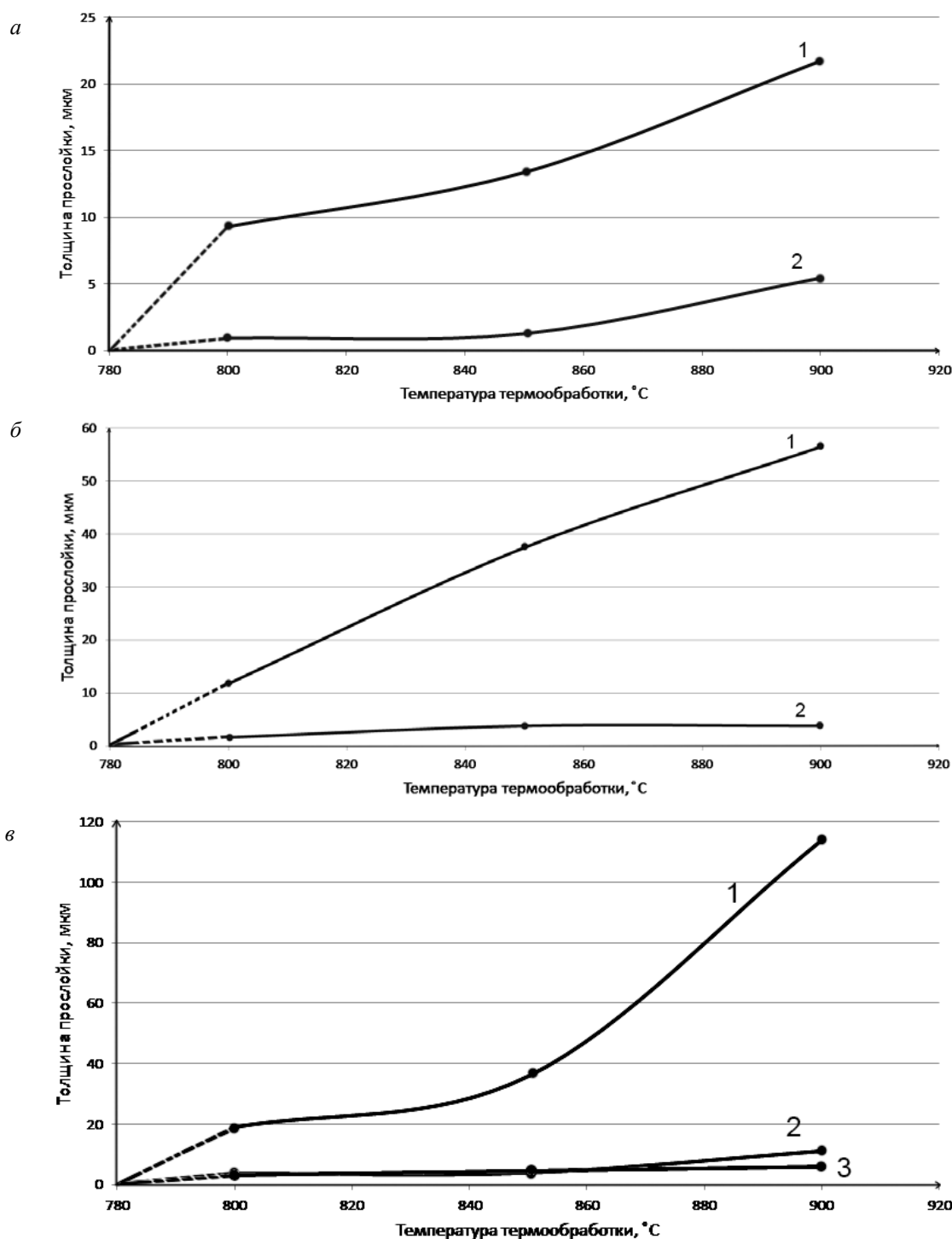


Рис. 4. Зависимость толщины диффузионных прослоек от температуры термообработки: а – 1 ч выдержки; б – 4 ч выдержки; в – 10 ч выдержки. 1 – широкая прослойка; 2 – тонкая прослойка 1; 3 – тонкая прослойка 2

Распределение микротвердости по сечению композиционного материала при исследованных температурах и времени выдержках 4 и 10 часов показано на рис. 5, 6.

Микротвердость диффузионных зон при времени выдержки 4 часа (рис. 5) составляет 3,5–3,8 ГПа, титановых слоев около 2,5 ГПа, стальных – 1,8–2,0 ГПа.

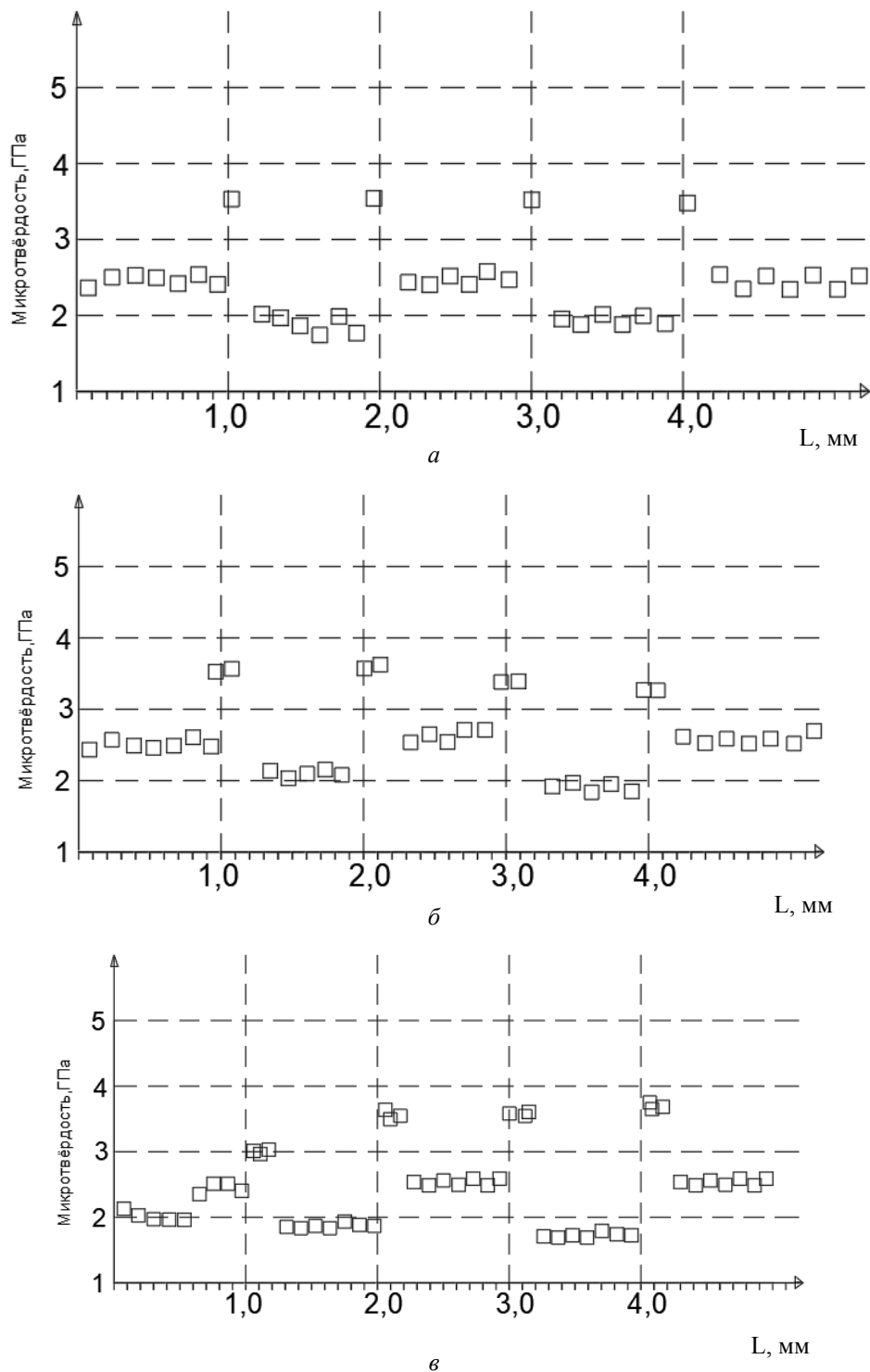


Рис. 5. Распределение микротвердости по сечению пятислойного композита ВТ20-08Х18Н10Т после отжига при температурах:
а – 800 °С; б – 850 °С; в – 900 °С, время выдержки 4 часа

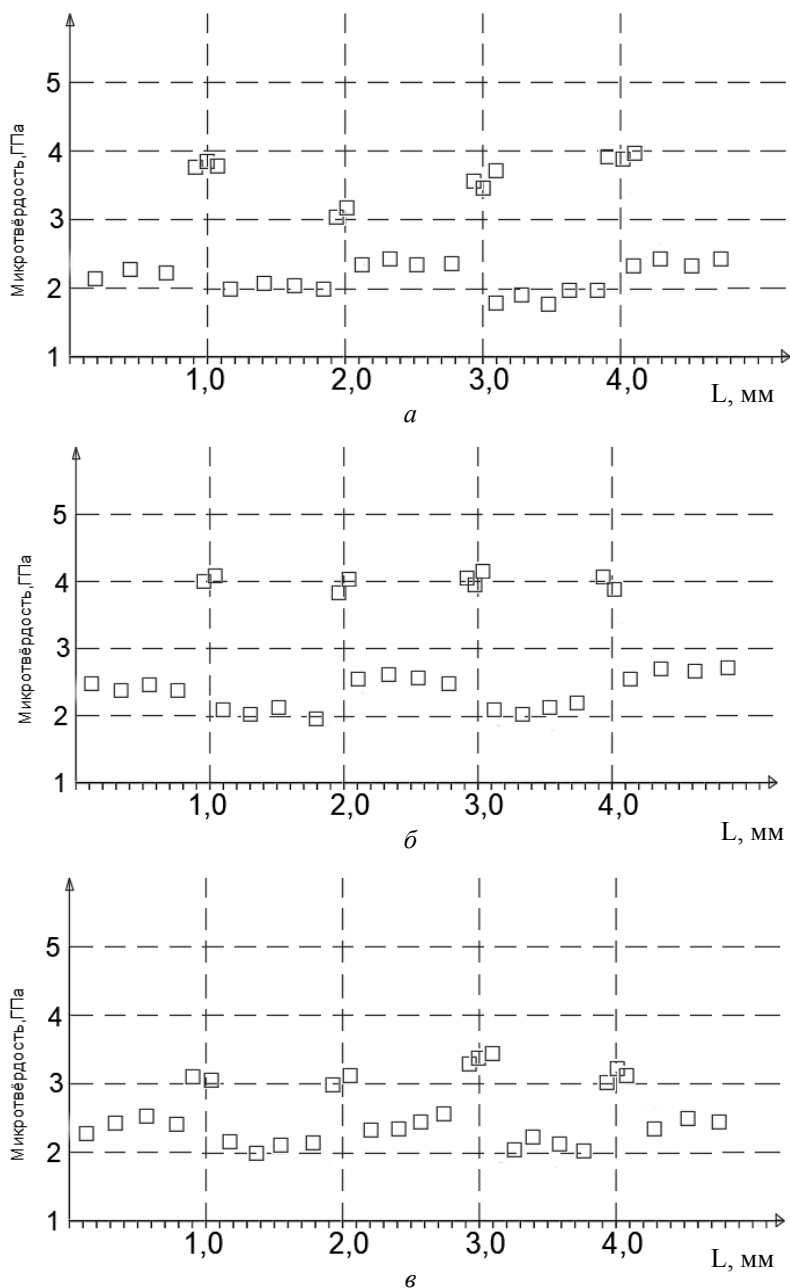


Рис. 6. Распределение микротвердости по сечению пятислойного композита BT20-08X18N10T после отжига при температурах:
a – 800 °C; *б* – 850 °C; *в* – 900 °C; время выдержки 10 часов

При выдержке 10 часов микротвердость диффузионных зон составляет около 3,5–4,0 ГПа при температурах 800, 850 °C, и несколько ниже – 3,0–3,2 ГПа при температуре 900 °C, а микротвердость титановых слоев и коррозионно-стойкой стали около 2,5 и 2,1 ГПа соответственно (рис. 6).

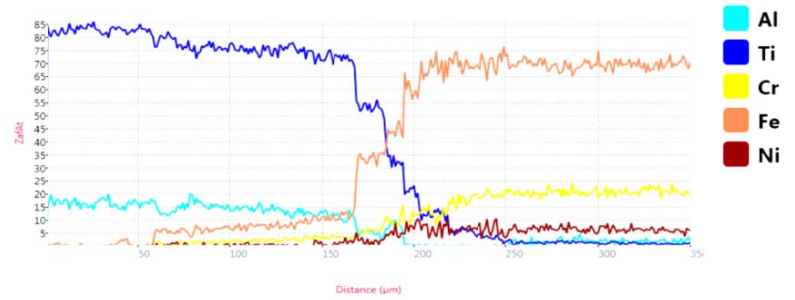
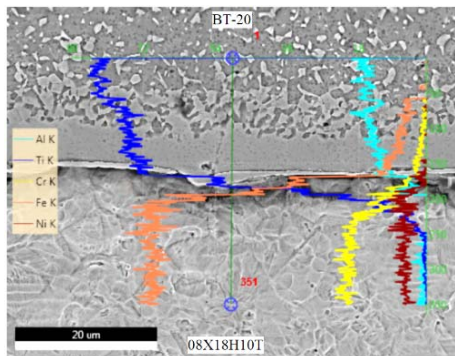
Распределения химических элементов в диффузионных зонах у границы 1 композита (рис. 1, 2), подвергнутого термической обработке со временами выдержки 4 и 10 ч, представлены на рис. 7, 8.

Проведенное исследование показало, что диффузионная прослойка насыщена компонентами, входящими как в состав коррозионно-стойкой стали, так и титанового сплава, а именно Fe, Ni, Cr, Ti и Al. При выдержке 4 часа (рис. 7) содержание титана в широкой диффузионной прослойке снижается при приближении к узкой прослойке с 85 % ат. до 55 % ат., и одновременно растет содержание железа с 55 % ат. до 70 % ат. Содержание алюминия широкой диффузионной прослойке близко к его концентрации в титановом сплаве (~ 18 % ат.), но снижается вблизи уз-

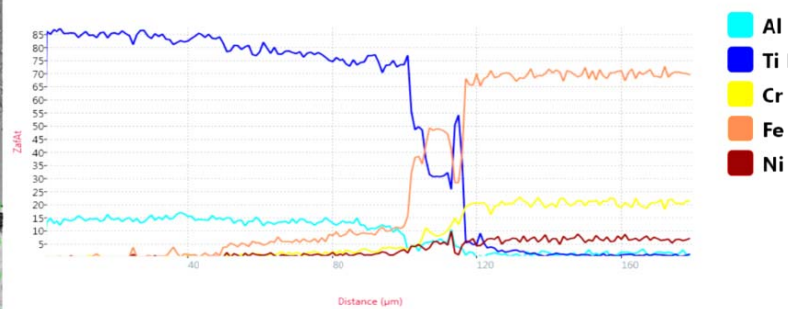
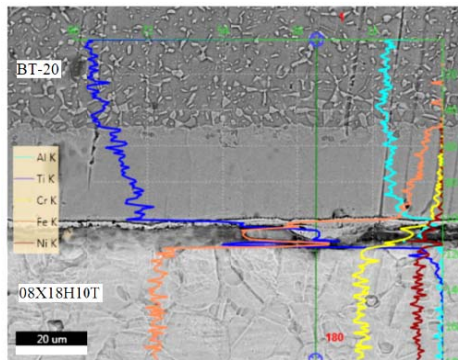
кой прослойки, что сопровождается одновременным увеличением содержания хрома и никеля.

При термической обработке со временем выдержки 10 часов (рис. 8) содержание алюминия в широкой диффузионной прослойке постоянно по толщине и немного меньше, чем при термообработке с выдержкой 4 ч (~ 15 % ат.) и по мере приближения к узкой прослойке оно

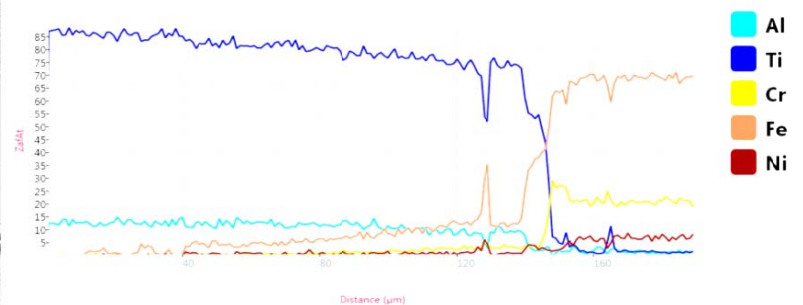
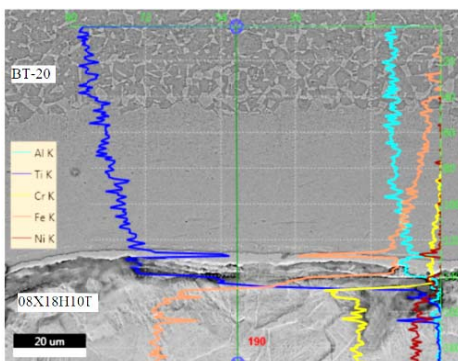
монотонно снижается, а содержание никеля увеличивается. Количество титана снижается при приближении к узкой диффузионной прослойке с ~87 % ат. до 45 % ат., и одновременно растет содержание железа с 45 % ат. до 70 % ат. Хром, достигая диффузионной прослойки, увеличивается с 5 % ат. до 25 % ат., а затем снижается примерно до 20 % ат.



а



б



в

Рис. 7. Распределение химических элементов на границе / в диффузионной зоне пятислойного титаностального композита после отжига при температурах: а – 800 °С; б – 850 °С; в – 900 °С, время выдержки 4 часа

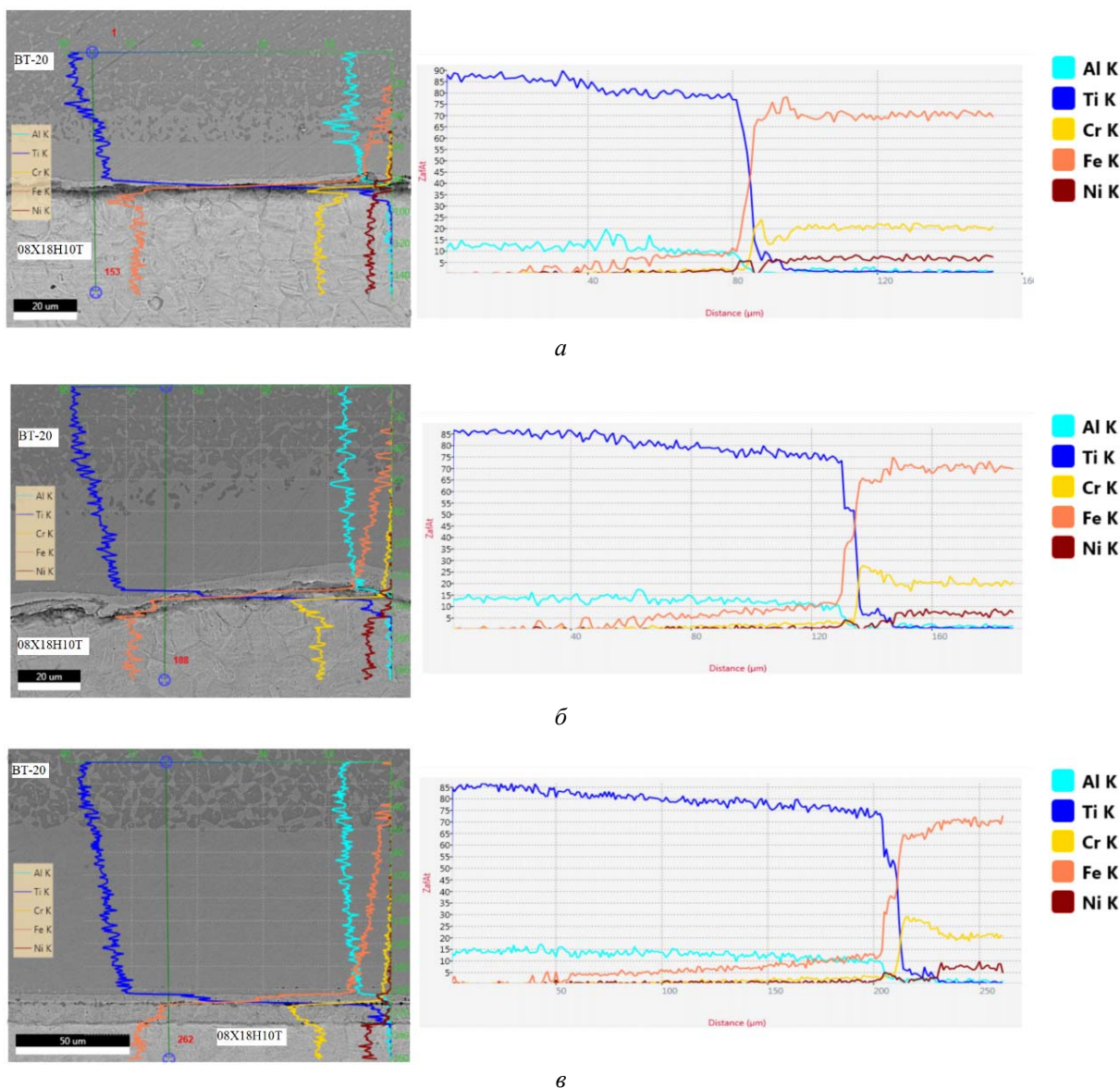


Рис. 8. Распределение химических элементов на 1-й границе в диффузионной зоне пятислойного титаностального композита после отжига при температурах: *a* – 800 °С; *б* – 850 °С; *в* – 900 °С, время выдержки 10 часов

В последующих исследованиях будут рассмотрены особенности распределения химических элементов в диффузионных зонах с последующим определением фазового состава с помощью рентгеноструктурного анализа при рассмотренных режимах термической обработки.

Выводы

Металлографические исследования и энергодисперсионный анализ диффузионных зон вблизи границ соединения пятислойного титаностального композита BT20+08X18H10T, сформировавшихся при температурах 800 °С, 850 °С и 900 °С и временах выдержки 4 и 10 ч, показали:

- с увеличением температуры на всех границах происходит рост диффузионных прослоек преимущественно в BT-20; диффузионная зона при времени выдержки 4 часа состоит из двух прослоек – тонкой возле коррозионно-стойкой стали и толстой – в титановом сплав; после увеличения времени выдержки до 10 часов обнаружена третья, узкая прослойка при одновременном резком увеличении толстой прослойки при росте температуры;
- микротвердость диффузионных зон, сформировавшихся при изученных температурах и временах выдержки, 3,5–4,0 ГПа, микротвердость стальных и титановых слоев составляет около 2,0 и 2,5 ГПа соответственно;

– диффузионные прослойки насыщены компонентами, входящими как в состав коррозионностойкой стали, так и титанового сплава, а именно Fe, Ni, Cr, Ti и Al.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Трыков, Ю. П.* Титаностальные композиты и соединения : монография / Ю. П. Трыков, Л. М. Гуревич, В. Г. Шморгун // ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – 344 с.

2. *Гуревич, Л. М.* Слоистые интерметаллидные композиты и покрытия : монография / Л. М. Гуревич, В. Г. Шморгун, О. В. Слаутин, А. И. Богданов. – Москва : Металлургиздат, 2016. – 346 с.

3. *Трыков, Ю. П.* Диффузия в слоистых композитах : монография / Ю. П. Трыков, Л. М. Гуревич, В. Н. Арисова // ВолгГТУ. – Волгоград, 2006. – 402 с.

4. Structure formation in the zones of joints obtained by

explosion welding with subsequent rolling of a five-layer titanium-steel composite / В. Н. Арисова, Л. М. Гуревич, А. Ф. Трудов, А. Г. Серов, В. О. Харламов // Metallurgist. – 2019. – Vol. 63, No. 1–2 (April). – P. 96–104.

5. *Арисова, В. Н.* Особенности формирования структуры на границах сваренного взрывом пятислойного титаностального композита / В. Н. Арисова, Л. М. Гуревич, А. Ф. Трудов, А. Г. Серов, В. О. Харламов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 9 (219) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2018. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении». – С. 19–22.

6. Влияние термической обработки на диффузионные процессы в сваренном взрывом пятислойном титаностальном композите / В. Н. Арисова, Л. М. Гуревич, А. Ф. Трудов, А. И. Богданов, В. О. Харламов, В. А. Изюмский // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 10 (233) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). – С. 7–12.