

## ВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ НАПЛАВКА ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT22

**В. П. ПРИЛУЦКИЙ<sup>1</sup>, С. В. АХОНИН<sup>1</sup>, С. Л. ШВАБ<sup>1</sup>, И. К. ПЕТРИЧЕНКО<sup>1</sup>, И. А. РАДКЕВИЧ<sup>1</sup>,  
С. Б. РУХАНСКИЙ<sup>1</sup>, С. Л. АНТОНЮК<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

<sup>2</sup>ГП «АНТК им. О. К. Антонова»

В статье приведены результаты исследований применения порошковой проволоки марки ППТ-22 в качестве присадочного материала и магнитоуправляемой дуги для аргодуговой наплавки изношенных деталей из сплава VT22. Показано, что при восстановлении геометрических размеров изношенных поверхностей наплавкой появляется возможность управлять формой наплавки и получать наплавленный металл со свойствами на уровне свойств основного металла после стандартной термической обработки. Библиогр. 6, табл. 1, рис. 10.

*Ключевые слова:* сплав VT22, наплавка, порошковая титановая присадочная проволока, магнитоуправляемая дуга

Одним из существенных недостатков большинства титановых сплавов, в частности, сплава VT22, является низкое сопротивление износу. Поэтому в процессе эксплуатации узлов и деталей возникают дефекты поверхности, вызванные ее износом. Такие дефекты наблюдаются в некоторых деталях современных пассажирских и транспортных самолетов, в частности, в рельсах механизации крыла самолетов «АН». Глубина участков износа достигает 2 мм (рис. 1). В связи с возникновением таких дефектов необходимо выполнять замену изношенной детали на новую, что приводит к большим затратам на ее изготовление.

Одним из способов, который применяется для восстановления геометрических размеров зон износа поверхности, является газотермическое нанесение покрытий [1]. Существенными недостатками таких способов является ограничение толщины наносимых покрытий, которая во многих случаях является недостаточной для восстановления глубоких повреждений, а также низкая адгезия нанесенных слоев, приводящая к их разрушению в условиях высоких контактных динамических нагрузок.

К процессам восстановления также относится и технологический процесс наплавки. Он обладает высокой адгезией и позволяет избежать тех недостатков, которые присущи отмеченным выше способам. Поэтому предложено использовать процесс наплавки дугой, горящей в аргоне на вольфрамовом электроде и управляемой магнитным полем, для получения наплавленного слоя [2].

Воздействие внешнего поперечного переменного магнитного поля позволяет регулировать глубину проплавления, ширину и высоту наплавленного слоя, а также перераспределять тепловую энергию дуги так, чтобы большая часть погонной

энергии расходовалась на плавление присадочной проволоки.

Сплав VT22, по-видимому, из-за высокого содержания  $\beta$ -стабилизаторов весьма чувствителен к внутренним напряжениям, которые возникают в зоне термического влияния при выполнении сварки с присадочными проволоками, состав которых отличается от состава сплава VT22 [3, 4]. Поэтому представляло интерес применить для наплавки присадочный материал с таким же химическим составом легирующих элементов, как и у основного металла и после наплавки применить стандартный режим отжига ко всему участку наплавленного соединения.

Важным элементом влияния на свойства сплава VT22 является термическая обработка (ТО). Отжиг для сварных соединений этого сплава является одновременно и упрочняющей ТО. В зависимости от температуры нагрева, длительности отжига и скорости охлаждения можно получать различные сочетания прочности и пластичности. Отжиг сплава VT22 проводят в двухфазной области (750...850 °С) с последующим одно- или многоступенчатым охлаждением [5]. Такая термообработка приводит к мак-



Рис. 1. Рабочая поверхность рельса с участками износа



Рис. 2. Микродефекты поверхности проволоки ВТ22 (×200)

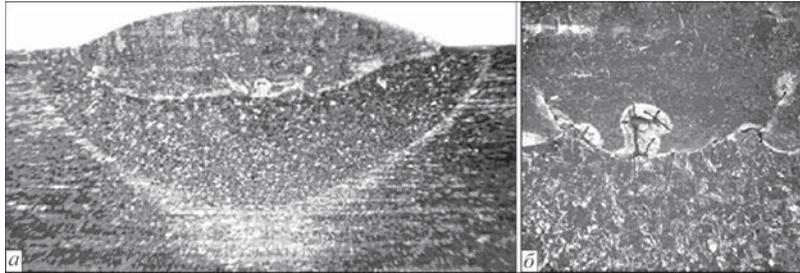


Рис. 3. Макрошлиф соединения, наплавленного присадочной проволокой ВТ22 на подложку сплава ВТ22 (а) и микродефекты в зоне сплавления (б)

симальной гетерогенности структуры примерно с равным количеством  $\alpha$  и  $\beta$  фаз.

**Методика исследований.** Наплавку на пластины из сплава ВТ22 толщиной 12 мм выполняли магнитоуправляемой дугой. В качестве присадочных материалов использовали опытную проволоку сплошного сечения ВТ22 (диаметр 3 мм) и опытную присадочную порошковую проволоку марки ППТ-22 (диаметр 3 мм) [6]. Исходя из анализа литературных данных, был выбран режим ТО, рекомендованный для сварных соединений: нагрев в печи до  $T = 750\text{ }^\circ\text{C}$ , выдержка в течение 1 ч, охлаждение на воздухе.

На микроскопе Neofot после ТО выполнялась оценка качества наплавленных соединений на макро- и микрошлифах, на которых исследовали структуру наплавленного металла.

**Наплавка присадочной проволокой ВТ22.** Результаты металлографических исследований присадочной проволоки ВТ22 показывают, что качество ее поверхности неудовлетворительное, на ней имеются локальные дефекты в виде трещин, надрывов и закатов (рис. 2). Эти дефекты возникли в процессе изготовления проволоки и могут явиться источником загрязнений наплавленного металла и, как следствие, снижения его качества.

В металле, наплавленном проволокой ВТ22, а также в зоне сплавления наблюдается большое количество разного рода макро- (рис. 3) и микродефектов (рис. 4). В основном это несплошности, трещины, несплавления, поры размером до 0,3 мм. Наличие указанных дефектов можно отнести за счет неудовлетворительного качества изготовленной присадочной проволоки ВТ22. На основании анализа полученных данных в результате исследований качества наплавленного металла сделан вывод о нецелесообразности применения этой проволоки в качестве материала для наплавки.

**Наплавка присадочной порошковой проволокой ППТ-22.** Для выполнения наплавки в качестве присадочного материала была использована опытная присадочная порошковая проволока марки ППТ-22. Ее конструкция представляет собой

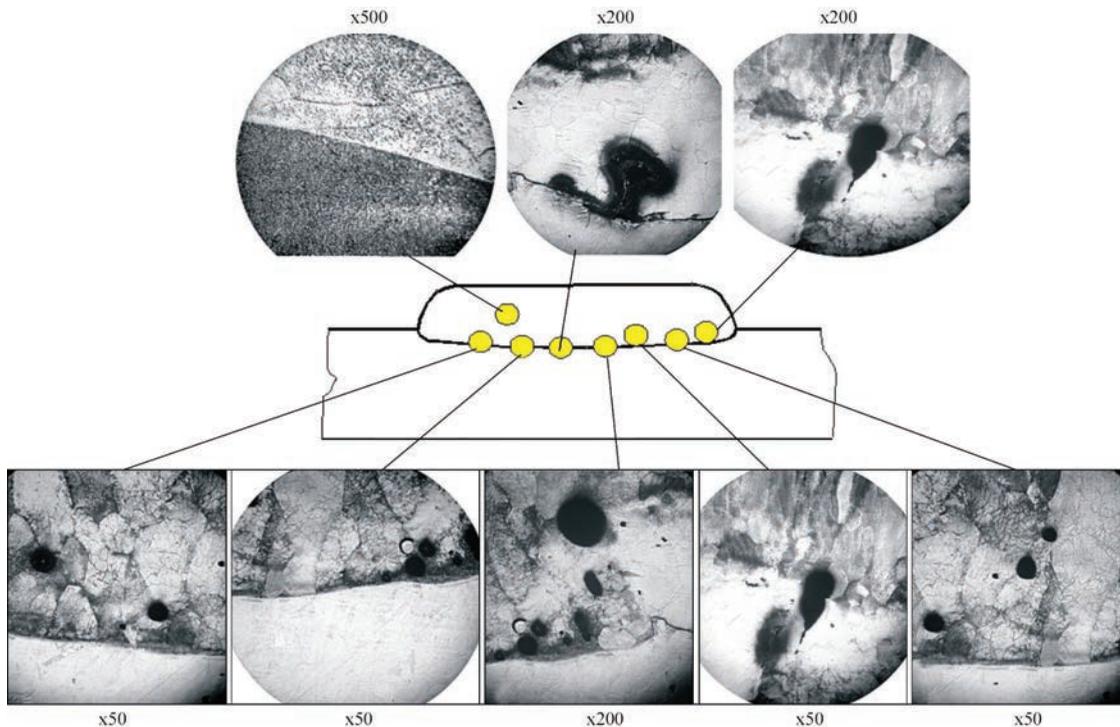


Рис. 4. Участки микроструктуры наплавленного металла ВТ22 вблизи зоны сплавления

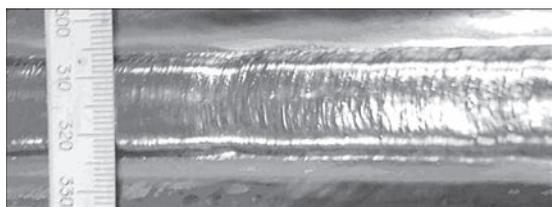


Рис. 5. Характер формирования поверхности металла, наплавленного порошковой проволокой ППТ-22 на пластину сплава ВТ22



Рис. 6. Макрошлиф соединения, наплавленного порошковой проволокой ППТ-22 на пластину сплава ВТ22 в состоянии после наплавки

трубчатую оболочку из технического титана марки ВТ1-00. Внутри оболочки находится металлический сердечник, состоящий из гранул сплава ВТ22. Внешний вид наплавленного металла приведен на рис. 5, макрошлиф — на рис. 6. Выполненный радиологический анализ наплавленных образцов показал отсутствие в них пор (рис. 7).

Металлографический анализ наплавленного металла не выявил в нем пор и других дефектов,



Рис. 7. Рентгенограмма металла, наплавленного порошковой проволокой ППТ-22 в состоянии после наплавки

в зоне сплавления также не обнаружено микродефектов (рис. 8). В наплавленном металле образуется мелкоигольчатая однородная структура, распад  $\beta$ -фазы в объеме зерна при охлаждении происходит равномерно (рис. 9).

Для стабилизации структуры и получения оптимальных механических характеристик после выполнения наплавки соединения подвергали ТО по режиму: нагрев в печи при  $T = 750\text{ }^\circ\text{C}$ , выдержка в течение 1 ч, охлаждение на воздухе.

Проведенная ТО вызвала изменения структуры всех участков сварного соединения. В основном металле наблюдалась волнистость между  $\alpha$ -пластин (рис. 10, а). В зоне термического влияния произошел достаточно равномерный распад метастабильной  $\beta$ -фазы с выделением дисперсных частиц мартенситной  $\alpha'/\alpha''$ -фазы. Отмечены единичные мелкие рекристаллизованные зерна, частичная рекристаллизация  $\beta$ -зерна, сохранилась субзеренная структура (рис. 10, б). Отжиг способствовал образованию более однородной и равномерной

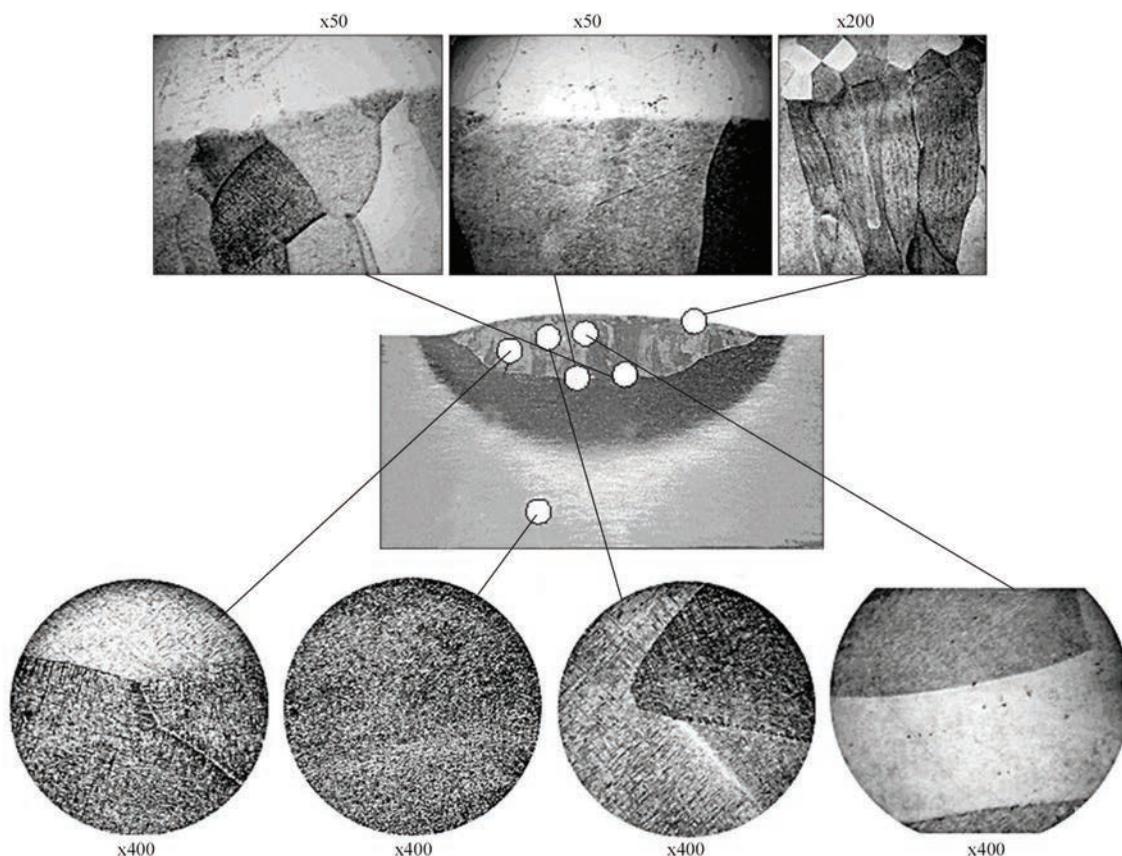


Рис. 8. Микроструктура участков соединения, наплавленного порошковой проволокой ППТ-22 на пластину сплава ВТ22 в состоянии после наплавки

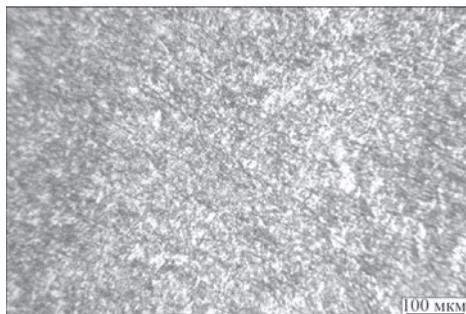


Рис. 9. Микроструктура наплавленного металла проволокой ППТ-22 в состоянии после наплавки

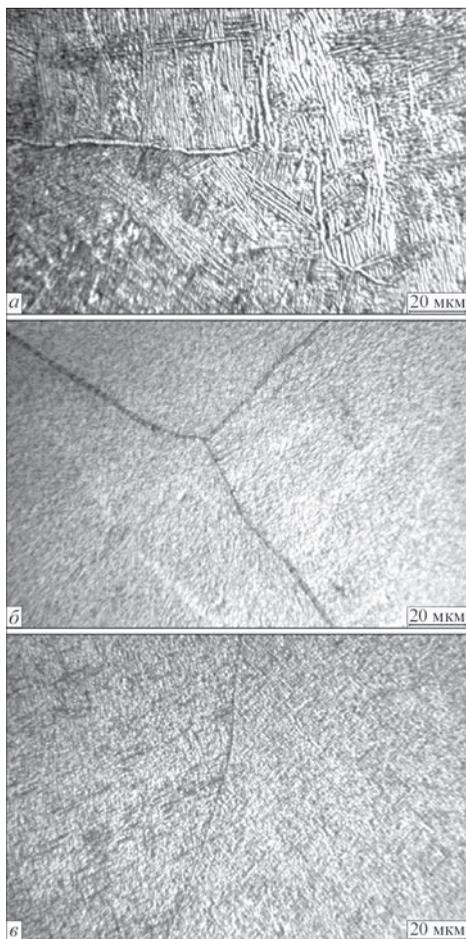


Рис. 10. Микроструктура металла соединения, наплавленного проволокой ППТ-22

структуры металла по высоте наплавки (рис. 10, в), чем в неотожженном образце.

Анализ результатов механических испытаний (таблица) показывает, что прочность металла, наплавленного присадочной титановой порошковой проволокой марки ППТ-22, незначительно превышает прочность основного металла, что может оказать положительное влияние на износостойкость наплавки при трибологических испытаниях.

Результаты исследований показывают, что комбинированное применение присадочной порошковой проволокой марки ППТ-22 и магнитоуправляемой дуги при аргодуговой наплавке позволяет

**Механические свойства наплавленного и основного металла после ТО**

Металл	$\sigma_b$ , МПа	KCV, Дж/см <sup>2</sup>
Наплавленный металл	$\frac{1066,0 \dots 1133,9}{1099,9}$	$\frac{13,4 \dots 14,1}{13,7}$
Основной металл	$\frac{930,2 \dots 991,5}{960,85}$	$\frac{32,6 \dots 35,4}{34,0}$

*Примечание.* Приведены результаты 5-ти испытаний.

управлять формой (шириной и высотой) наплавки и получать наплавленный металл со свойствами на уровне основного металла после стандартной ТО. Полученные данные позволяют рекомендовать использование проволоки ППТ-22 в качестве присадочного материала для восстановительной наплавки.

1. Технологические рекомендации по восстановлению рабочих лопаток турбин ГТД и рельсов механизации крыла самолетов: отчет по НИР № 482-В83 за I-II кв.; науч. рук. проф. А. Я. Алябьев. – К.: КИИГА, 1984. – С. 40–56.
2. Paton V. E. Narrow-groove welding proves its worth on thick titanium / V. E. Paton, V. N. Zamkov, V. P. Prilutsky. // *Welding Journal*. – 1996. – № 5.
3. Сварка высокопрочных титановых сплавов / С. М. Гуревич, Ф. Р. Куликов, В. Н. Замков [и др.]. – М.: Машиностроение, 1975. – 150 с.
4. Изыскание присадочного материала для сварки ( $\alpha+\beta$ )-титановых сплавов / С. М. Гуревич, В. Н. Замков, Н. А. Кушнirenко [и др.] // В кн.: Актуальные проблемы сварки цветных металлов. – К.: Наукова думка, 1980. – С. 314–320.
5. Влияние термической обработки на структуру и свойства титанового сплава BT22 / Л. И. Анисимова, А. А. Попов, В. И. Мельникова [и др.] // *Физика металлов и металловедение*. – 1977. – Т. 44, вып. 4. – С. 843–845.
6. Аргодуговая сварка титанового сплава BT22 с использованием присадочной порошковой проволокой / В. П. Прилуцкий, С. Л. Шваб, И. К. Петриченко [и др.] // *Автоматическая сварка*. – 2016. – № 9. – С. 10–14.

В. П. Прилуцкий<sup>1</sup>, С. В. Ахонin<sup>1</sup>, С. Л. Шваб<sup>1</sup>,  
И. К. Петриченко<sup>1</sup>, I. А. Радкевич<sup>1</sup>,  
С. Б. Руханський<sup>1</sup>, С. Л. Антонюк<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ІЕС ім. С. О. Патона НАН України,  
03680, м. Київ-150, вул. Казимира Малевича, 11.  
E-mail: office@paton.kiev.ua  
<sup>2</sup>ДП «АНТК ім. О. К. Антонова»

**ВІДНОВЛЮВАЛЬНЕ НАПЛАВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ  
З ТИТАНОВОГО СПЛАВУ BT22**

У статті наведено результати досліджень застосування порошкового дроту марки ППТ-22 в якості присадного матеріалу і магнітокерованої дуги для аргодугового наплавлення зношених деталей зі сплаву BT22. Показано, що при відновленні геометричних розмірів зношених поверхонь наплавленням з'являється можливість управляти формою наплавлення і отримувати наплавлений метал з властивостями на рівні властивостей основного металу після стандартної термічної обробки. Бібіогр. 6, табл. 1, рис. 10.

*Ключові слова:* сплав BT22, наплавлення, порошковий титановий присадний дріт, магнітокерована дуга

Поступила в редакцію 12.12.2016