

# ОБЩЕИНЖЕРЕННЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

УДК 621.793.184

А. К. Вершина, д-р техн. наук, профессор;  
В. В. Шелег, инженер РУП «Сморгонский завод оптического станкостроения»

## МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ВУ-1БС ДЛЯ ОСАЖДЕНИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ДЕРЕВОРЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ

The technological module developed for modernization of vacuum unit VU-1BC and aimed at hardening wood-cutting equipment by diamond-like films and coatings based on refractory compounds of amphoteric metals is described. The efficiency of the module's application for separation of plasma flows generated by electric arc evaporator is shown.

**Введение.** Проблема повышения стойкости и работоспособности лезвийного деревообрабатывающего инструмента является актуальной народнохозяйственной задачей, решение которой может быть достигнуто улучшением поверхностного слоя инструмента с помощью износостойких покрытий [1–3]. Наиболее перспективными упрочняющими покрытиями представляются тонкопленочные композиции на основе тугоплавких соединений переходных металлов, а также аморфного тетраэдрического углерода  $ta-C$  (алмазоподобные покрытия). Указанные классы покрытий могут быть получены с использованием традиционных вакуумного электродугового метода и метода магнетронного распыления. Однако присутствие этим методам ограничения [4] не позволяют рекомендовать их в качестве универсальных при осаждении покрытий на изделия с низкой температурой отпуска, а также алмазоподобных покрытий с высоким содержанием  $sp^3$  связей.

И хотя сегодня довольно распространенным методом формирования алмазоподобных пленок является импульсный электродуговой, говорить о его универсальности представляется затруднительным в силу ряда причин, основными из которых являются низкая производительность и присутствие в плазменном потоке дефектов известного характера.

**Основная часть.** Для расширения технологических возможностей вакуумного оборудования разработан экспериментальный технологический комплекс на базе установки ВУ-1БС, включающий:

- модуль стационарных дуговых источников с сепарацией плазменного потока;
- импульсный магнетронный распылитель;
- ионный источник (УАС).

Модуль стационарных дуговых источников с сепарацией плазменного потока (рис. 1) предназначен для получения тонких пленок тугоплавких металлов и их соединений с пониженным содержанием «капельной фазы». Предполагается ис-

пользование модуля для создания интерфейсных слоев подложка – пленка, а также разгрузочных слоев в комбинированных конструкциях тонкопленочных покрытий. Модуль представляет собой Т-образный плазмод, устанавливаемый на один из боковых фланцев ( $D_y = 250$  мм) рабочей камеры вакуумной установки ВУ-1БС. На плазмодовде монтируются два встречно направленных стационарных электродуговых источника металлической плазмы, оснащенных системой магнитной фокусировки, состоящей из трех соленоидов. Поворот потоков плазмы осуществляется за счет опосредованного воздействия на плазменные потоки магнитного поля, индуцированного двумя прямоугольными катушками, расположенными на одной оси перпендикулярно плазменным потокам и имеющими встречно направленные векторы магнитной индукции. Катушки расположены таким образом, что плазменные потоки не выходят за плоскость, проходящую через их центр.

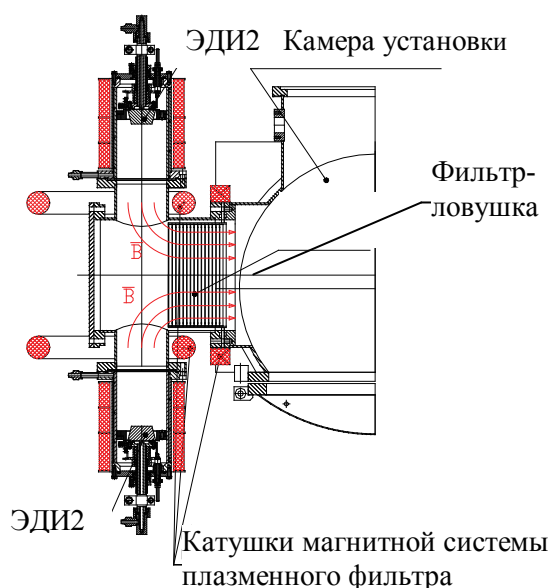


Рис. 1. Модуль стационарных дуговых источников с сепарацией плазменного потока

Стационарные электродуговые испарители имеют диаметр катода 70 мм и обеспечивают ток разряда до 130 А. Модуль позволяет работать одним испарителем или двумя испарителями одновременно, при этом могут быть использованы катоды из разных материалов. На камере ВУ-1БС предусмотрена возможность установки одного из стационарных электродуговых источников без плазменного фильтра.

*Импульсный магнетронный распылитель* (рис. 2) предназначен для реализации режимов как импульсного магнетронного распыления, так и переходного режима (аномальный разряд в скрещенных полях – дуговой разряд) и является основным экспериментальным модулем. Он устанавливается на второй боковой фланец рабочей камеры вакуумной установки ВУ-1БС и состоит из традиционной магнетронной распылительной системы постоянного тока (2 – анод, 3 – катод-мишень диаметром 128 мм, 4 – магнитная система), оптимизированной для работы в импульсном режиме, и дополнительного анода 1, используемого в переходном режиме для создания разрядного промежутка катод – дополнительный анод и подсоединяемого к накопителю через одновитковую катушку 6 и ввод 5.

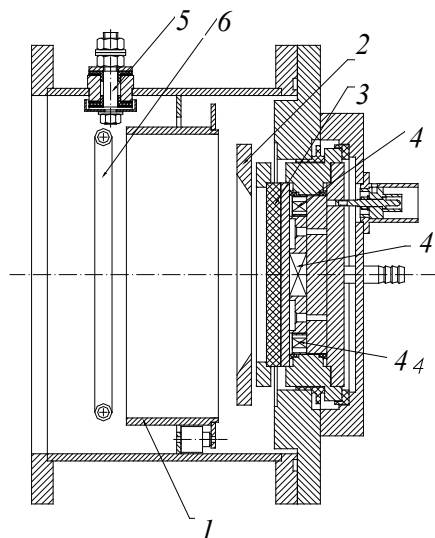


Рис. 2. Импульсный магнетронный распылитель

*Ионный источник* предназначен для подготовки поверхности перед осаждением тонкопленочных покрытий. Устанавливается на верхний фланец рабочей камеры ВУ-1БС. Представляет собой ускоритель с анодным слоем. Конструктивных особенностей не имеет.

Для обеспечения возможности сравнения характеристик пленок, полученных различными методами, в технологический комплекс был дополнительно включен источник импульсного дугового разряда, аналогичный имеющемуся на установках ПО «Кварц» (г. Калининград) –

УВНИПА-1-001 и УВНИПА-1-002. Источник был доработан для установки на фланец камеры ВУ-1БС (рис. 3).

Схема питания и управления импульсного дугового источника аналогична применяемой в установке УВНИПА-1-001.

В ходе отладки технологических модулей были получены пленки Ti (рис.4) на шлифованной поверхности образцов из стали Р6М5, представляющих собой пластины диаметром 25 мм и толщиной 5 мм. Осаждение производилось при остаточном давлении в камере вакуумной установки  $1,33 \times 10^{-3}$  Па для стационарного дугового испарителя и импульсного дугового испарителя, и в остаточной атмосфере Ag при давлении  $6 \times 10^{-2}$  Па.

Образцы были закреплены неподвижно напротив технологических источников на расстоянии 150 мм от катода-мишени МРС, на расстоянии 200 мм от катода электродугового испарителя и на расстоянии 100 мм от плоскости выходного отверстия плазменного фильтра. Перед нанесением покрытий образцы прогревались до 180 °С. Измерения толщины пленок производились с применением интерферометра.

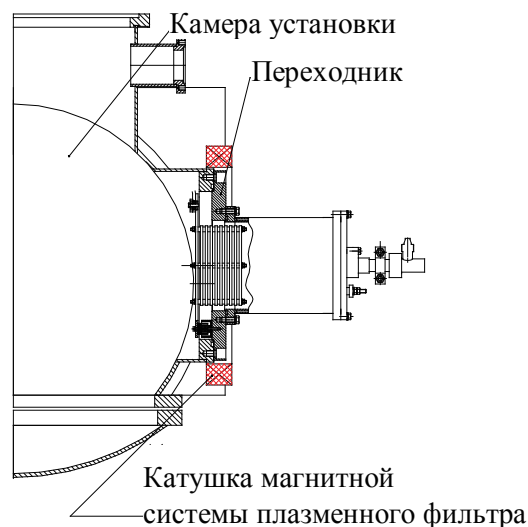


Рис. 3. Размещение импульсного дугового источника на камере ВУ-1БС

Стационарный дуговой источник с сепарацией плазмы работал при токе 110 А, использовался один катод. Время осаждения пленки – 30 мин, толщина полученной пленки – 0,87 мкм.

Импульсный дуговой источник с диаметром мишени 29 мм работал при напряжении заряда емкостного накопителя 160 В, частоте следования импульсов разряда 10 Гц. При осаждении пленки производилось 20 000 импульсов разряда. Получена пленка толщиной 1,45 мкм.

Магнетронный источник в стационарном режиме работал при токе мишени 5 А в течение 30 мин. Толщина полученной пленки – 0,92 мкм.

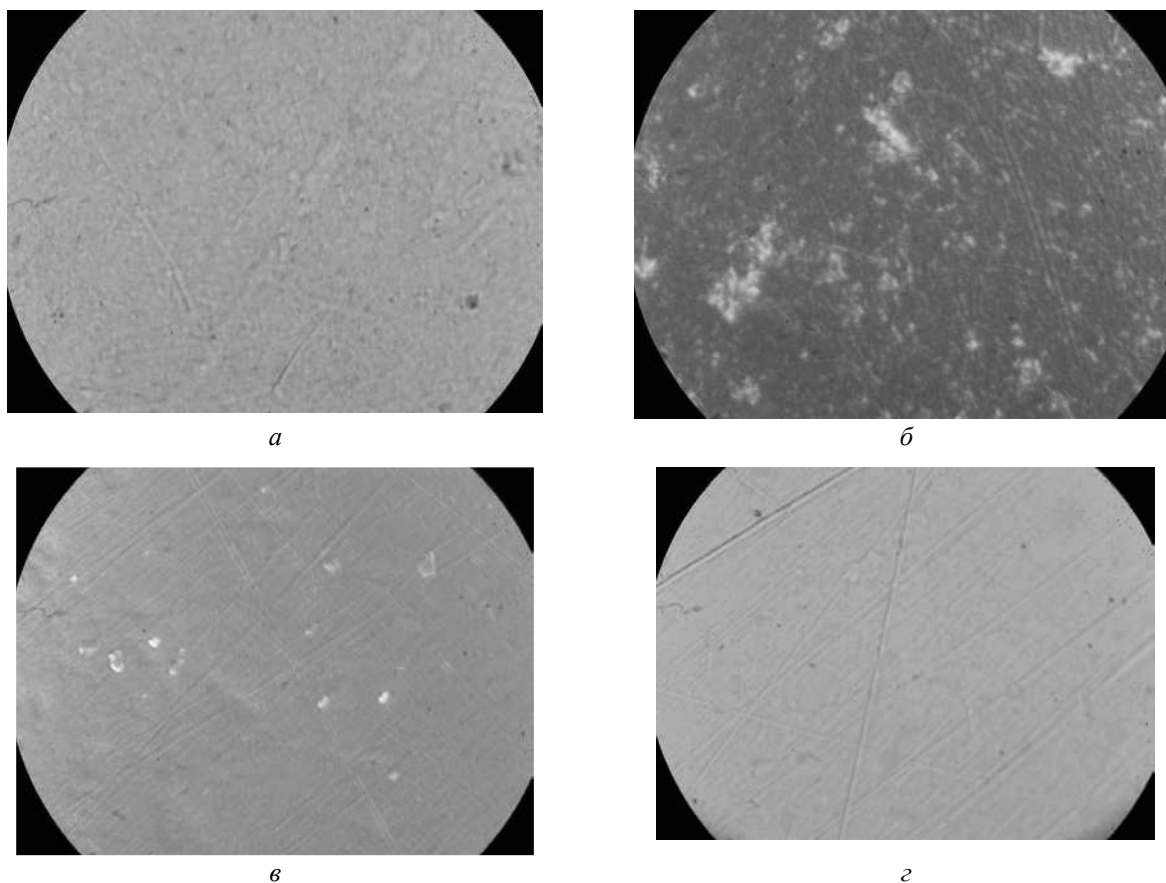


Рис. 4. Фотографии поверхностей образцов с пленками Ti, полученными с применением различных методов ( $\times 2000$ ):  
*а* – импульсный дуговой разряд; *б* – стационарный дуговой разряд с сепарацией плазмы;  
*в* – импульсный разряд МРС; *г* – стационарный разряд МРС

Магнетронный источник в импульсном режиме работал при емкости накопителя 200 мкФ, напряжении накопителя 1000 В и частоте следования импульсов в 10 Гц. При осаждении пленки производилось 20 000 импульсов разряда. Получена сплошная пленка толщиной 0,35 мкм.

Отсутствие дефектов в виде капель и твердых осколков материала катода на поверхностях образцов с Ti-покрытиями (рис. 4) свидетельствует об эффективности применения разработанного технологического комплекса для сепарации плазменного потока, что позволяет рекомендовать его для осаждения покрытий на деревообрабатывающий инструмент.

**Заключение.** Модернизация серийно выпускаемой вакуумной установки ВУ-1БС встраиванием технологического комплекса позволяет осуществить упрочнение деревообрабатывающего инструмента путем осаждения вакуумно-плазменных покрытий, наносимых на инструментальный материал с низкой температурой отпуска. Кроме того, конструктивные особенности разработанного комплекса способствуют оптимизации температурного режима резания древесины и древесных материалов. Последний фактор играет роль весьма серьезного ограничения, что связано с принципиаль-

ным различием в теплофизике резания неметаллических материалов по сравнению с металлообработкой. Это различие связано не только с используемым инструментом и технологическими режимами, но и исключением применения смазочно-охлаждающих жидкостей в процессах деревообработки.

#### Литература

1. Иващенко, С. А. Газотермические и вакуумно-плазменные покрытия со специальными физико-механическими свойствами / С. А. Иващенко, И. С. Фролов, Ж. А. Мрочек. – Минск: Технопринт, 2001. – 236 с.
2. Ageev, V. A. Effect of ion-plasma treatment on the durability of hard-alloy metal-cutting tools / V. A. Ageev, A. K. Vershina // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 1997. – № 3. – P. 23–30.
3. Multifunctional multi-component PVD coatings for cutting tools / M. Katherein [et al] // Surface and Coating Technology. – 2005. – Vol. 200. – P. 1867–1871.
4. Григорьев, С. Н. Прогрессивное оборудование и технологии вакуумно-плазменной обработки металлообрабатывающего инструмента / С. Н. Григорьев // Справочник. Инженерный журнал. – 2005. – № 8. – С. 42–45.