

А. К. Вершина, д-р техн. наук, профессор, БГТУ;
В. А. Агеев, канд. физ.-мат. наук, ГНУ «ФТИ НАН Беларуси»

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Multifunction plant for combined strengthening of woodcutter is processed. This plant allows to realize vacuum plasma treatment in united cycle. Plasma treatment combines cutter nitration in smouldering discharge and plasma vacuum are deposition of wearproof coatings or its magnetron sputtering.

Введение. В последние годы наблюдается заметное оживление в инструментальном производстве металло- и деревообрабатывающей промышленности. Это вызвано возможностью эффективного повышения ресурса работы лезвийного инструмента путем модифицирования его рабочих поверхностей формированием методами физического и химического осаждения в вакууме тонкопленочных слоев с высокой износостойкостью [1]. К сожалению, широко применяемые технологии не являются универсальными и позволяют наносить на инструмент покрытия, которые эффективны лишь для конкретных, зачастую очень узких условий резания материалов [2, 3]. В связи с этим в последнее время особенно в западной Европе наблюдается изменение в методологии выбора самой технологии нанесения упрочняющих покрытий. Если в конце прошлого столетия основной упор делался на повышение эксплуатационных свойств синтезируемых покрытий за счет изменения (подбора оптимальных) режимов нанесения покрытий, то в настоящее время в металлообрабатывающей промышленности приоритет отдается многослойным и композиционным покрытиям, которые наилучшим образом отвечают сочетанию прочности и пластичности, как наиболее важным свойствам покрытий [4, 5]. По-видимому, несмотря на различия в номенклатуре используемого инструмента, режимах резания, а также исключая возможность применения смазочно-охлаждающих жидкостей, аналогичный подход к выбору компонентно-структурно-композиционной схемы покрытия может быть реализован и при формировании его на деревообрабатывающем инструменте. Это обусловлено тем, что при высоких температурных нагрузках, характерных для процессов резания древесины и древесных материалов, в инструменте происходят структурные и (или) фазовые превращения, влекущие за собой резкое увеличение интенсивности изнашивания. Поэтому для деревоорежущего инструмента покрытие должно рассматриваться как промежуточная технологическая среда между контактирующими поверхностями инструментального (сталь) и обрабатываемого (древесина) материалов с уникальной способностью одновременно снижать термомеханическую нагрузку в зоне резания и

повышать сопротивляемость контактных площадок инструмента адгезионно-абразивному разрушению. В связи с этим архитектура покрытия указанного назначения должна быть многослойной, а структура – градиентной. Формирование таких сложных по строению, составу и структуре покрытий с помощью лишь методов прямого назначения, в том числе и плазменно-вакуумных, представляется достаточно сложной технологической задачей.

В связи с этим возникает необходимость в разработке такой технологии упрочнения лезвийного инструмента и создании соответствующего оборудования, которые позволили бы, по возможности, изменить физико-химические свойства поверхностного слоя инструментального материала без резких переходных границ между упрочненным слоем и основой.

Известно [6], что для повышения стойкости режущего инструмента необходимо создание под покрытием азотированного слоя определенной толщины, структура и величина микротвердости которого обеспечивают как плавный переход от материала покрытия к инструментальному материалу, так и высокие адгезионные свойства формируемых впоследствии конденсатов. Поэтому в настоящее время внимание исследователей и технологов-инструментальщиков все в большей степени привлекают комбинированные технологии упрочнения режущего инструмента, сочетающие плазменно-вакуумные методы нанесения покрытий и предварительное формирование диффузионного слоя в плазме вакуумно-дугового [7] либо тлеющего разрядов [8, 9].

Следует также отметить, что одним из направлений в повышении физико-механических свойств покрытий является снижение содержания в них капельной фазы. Эта задача в настоящее время довольно успешно решается различными способами: использованием системы с управляемой дугой, сепарацией плазменного потока магнитными полями либо плазмооптическими или механическими фильтрами, наложением высокочастотных колебаний на распыляемый электрод; однако все эти устройства в настоящее время не являются элементом серийного оборудования, а поставляются как дополнение к выпускаемому в настоящее время оборудованию [10–13].

Основная часть. На рис. 1 представлена принципиальная схема многофункциональной установки, предназначенной для комбинированной обработки дереворежущего инструмента.

Установка оснащена дуговым и магнетронным испарителями. Магнетронная распылительная система (3 – катод-мишень, 4 – анод, 7 – источник питания) предназначена для нанесения упрочняющих покрытий, а также для обработки инструмента в плазме тлеющего разряда.

Отличительной особенностью разработанной магнетронной распылительной системы является ее усовершенствованная магнитная система, источник питания и катодный узел. Модернизация магнитной системы выполнена посредством замены постоянных магнитов на электромагниты – соленоид.

Применение последних позволило использовать магнетрон как саморегулируемое устройство с расширенным диаметром магнитной индукции до 100 мТ и высокой стабилизацией магнетронного разряда ($\pm 2\%$ по мощности) и диапазоне давлений рабочего газа 0,2–8 Па.

Отключение магнитной системы трансформирует магнетронную распылительную систему в источник плазмы тлеющего разряда. Энергообеспечение распылительной системы осуществляется специально разработанным источником питания, включающим силовой блок и блок управления. Силовой блок мощностью 3 кВт обеспечивает выходное напряжение 500–600 В по выпрямленному току. Источник питания способен осуществлять в случае необходимости питание последовательно трех магнетронных испарителей.

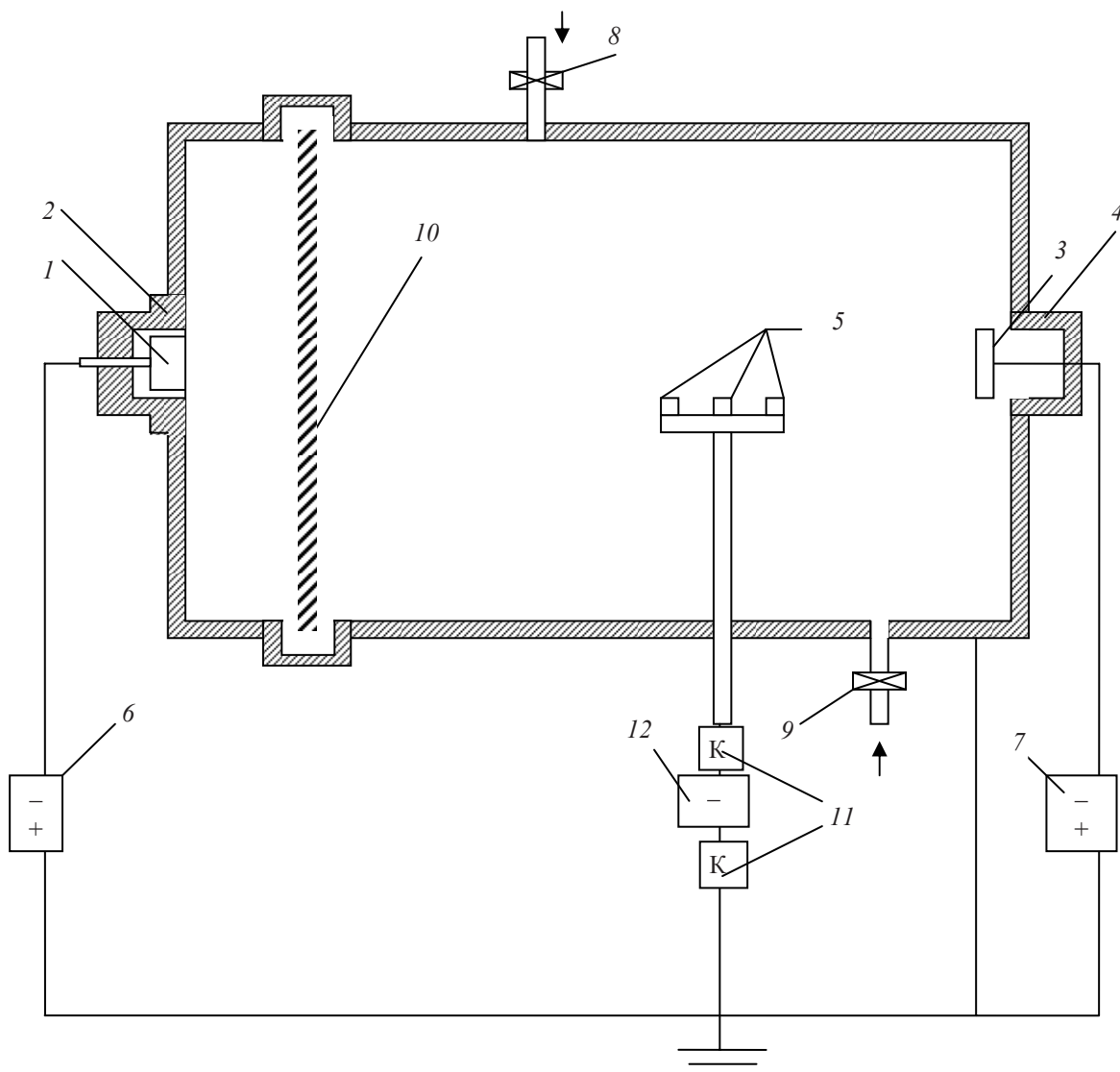


Рис. 1. Принципиальная схема многофункциональной установки для двухстадийного нанесения износостойких покрытий:

- 1 – катод дугового испарителя; 2 – анод; 3 – катод магнетрона; 4 – анод; 5 – подложки;
 6 – источник питания дуги; 7 – источник питания магнетрона; 8 – клапан-натекатель реактивного газа;
 9 – клапан натекатель инертного газа; 10 – устройство для очистки плазмы от микрочастиц;
 11 – коммутатор; 12 – источник потенциала смещения

Катодный узел усовершенствован встроенным дополнительным катодом (на рис. 1 не показан) с целью получения равнопрочных и равнотолщинных покрытий [14]. Дополнительный катод по форме выполняется либо в виде спирали, либо решетчатой формы с радиально расположенными от периферии к центру отверстиями. В общем случае применение дополнительного катода позволит расширить технологические возможности метода магнетронного распыления, ликвидировав следующие недостатки: разогрев подложек потоком высокоэнергетичных электронов, малый коэффициент использования мишени (0,3–0,35), отсутствие ионной компоненты в потоке частиц, взаимодействующих с обрабатываемой поверхностью.

Дуговой испаритель (1 – катод дугового разряда, 2 – анод) содержит дополнительно устройство для очистки плазмы от микрочастиц 10, представляющее собой жалюзную систему электродов [15], выполненную в виде набора коаксиальных электродов конической формы (рис. 2). Эти электроды 1 перекрывают апертуру испарителя, причем центральный электрод 2 представляет собой набор секционных элементов 3, 4, что позволяет ему изменять угол распыления α . Электроды соединены между собой последовательно и встречно (направление тока в электродах обозначено точками и крестиками), подключены к источнику тока и к положительному выводу источника напряжения, который вторым выводом подключен к аноду дугового испарителя 5. Вся система электродов находится под положительным потенциалом относительно анода дугового испарителя, для чего между анодом и жалюзной системой электродов включен источник напряжения (на рис. 1 не показан). Коаксиальные электроды имеют возможность взаимно перемещаться относительно друг друга в направлении 6 и расположены эквидистантно изолинии ионного тока 7 по сфере, центром которой является центр катода дугового испарителя. Угол конусности, ширина электродов и расстояние между ними выбирают таким образом, чтобы перекрыть сечение в направлении распространения плазменного потока 8.

Вакуумно-плазменная обработка в многофункциональной установке (рис. 1) проводится за один технологический цикл. Вначале через натекатели 8 и 9 в вакуумную камеру с размещенными в ней на подложках 5 инструментами подаются аргон и азот, на подложки 5 – положительный потенциал и осуществляется нагрев инструментов электронами до температуры 450–500°C. Затем переключением коммутатора 11 на подложки подается отрицательный потенциал (1,5–2 кВ) и осуществляется азотирование инструментов в тлеющем разряде в течение 1,5–2 ч

при варьировании состава азотированной смеси и ее давления 6–8 Па. После формирования поверхностного азотированного слоя проводится нанесение износостойкого покрытия либо вакуумным электродуговым способом, либо способом магнетронного распыления.

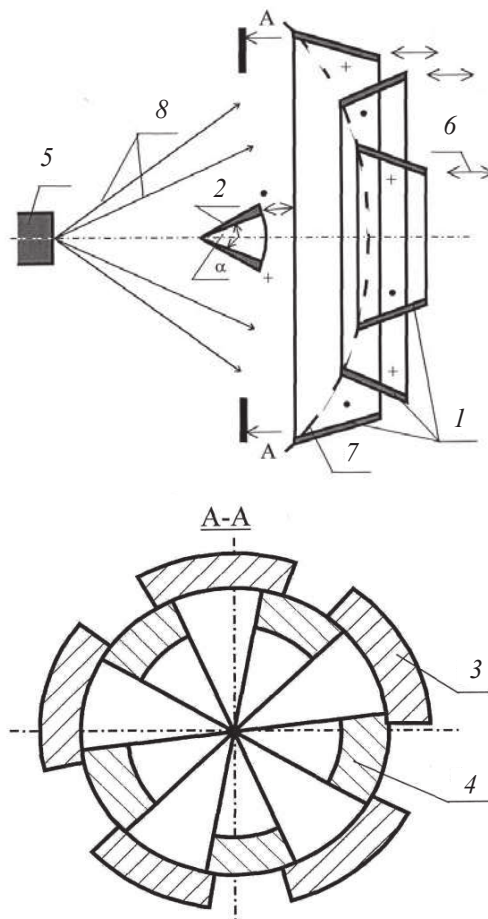


Рис. 2. Устройство для очистки плазмы дугового испарителя от микрочастиц:
1 – коаксиальные электроды;
2 – центральный электрод; 3, 4 – секционные элементы центрального электрода; 5 – дуговой испаритель; 6 – направление перемещения коаксиальных электродов; 7 – изолиния ионного тока; 8 – направления распространения плазменного потока

Выводы. Разработанная многофункциональная установка для комбинированного упрочнения дереворежущего инструмента позволяет в одном технологическом цикле проводить вакуумно-плазменную обработку, сочетающую азотирование поверхностного слоя инструмента в плазме тлеющего разряда и последующее нанесение на него износостойких покрытий в плазме вакуумно-дугового разряда либо магнетронным распылением. Причем нанесение покрытий может осуществляться как последовательным применением указанных способов либо одного из них, так и их совмещением.

Литература

1. Верещака, А. С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями / А. С. Верещака. – М.: Машиностроение, 1993. – 336 с.
2. Васин, С. А. Резание материалов: термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании / С. А. Васин, А. С. Верещака, В. С. Кушнер. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2001. – 448 с.
3. Полунина, О. В. Увеличение стойкости твердосплавного инструмента за счет его модификации низкоэнергетичным ионным пучком / О. В. Полунина, В. А. Акифьев, В. С. Кушнер. // Proceedings 6th international conference on modification of materials with particle beams and plasma flows. Tomsk, Russia. 23–28 September 2002. – P. 465–468.
4. Разработка и создание слоистых материалов инструментального назначения с заданным градиентом свойств / В. С. Фадеев [и др.] // Перспективные материалы. – 2004. – № 5. – С. 45–52.
5. Береснев, В. М. Многокомпонентные и многослойные вакуумно-дуговые покрытия для режущего инструмента / В. М. Береснев, М. Ю. Копейкина, С. А. Клименко // ВАНТ. – 2008. – № 1. – С. 152–158.
6. Sanchette, F. Single cycle plasma nitriding and hard coating deposition in a cathode arc evaporation devise / F. Sanchette, E. Damond // Surf. Coat. Technol. – 1997. – № 6. – P. 261–267.
7. Григорьев, С. Н. Оценка эффективности технологий нанесения покрытий на режущий инструмент / С. Н. Григорьев, Т. В. Кутергина // Вестник машиностроения. – 2005. – № 2. – С. 68–72.
8. Способ комбинированного упрочнения инструмента из быстрорежущих сталей, содержащих более 3% ванадия: пат. RU 2015199, С 23 С 8/36. 1994 / Г. С. Фукс-Рабинович, В. Г. Богомолов, В. Ф. Моисеев, В. В. Тихоничев.
9. Способ вакуумно-плазменного нанесения покрытий: пат. RU 2145362, С 23 С 14/34. 1997 / В. В. Будилов, С. Р. Шехтман, Р. М. Киреев.
10. Аксенов, И. И. Высокопроизводительная вакуумно-дуговая установка для осаждения покрытий / И. И. Аксенов, В. А. Белоус // ВАНТ. – 2008. – № 2. – С. 108–118.
11. Двухкатодный источник фильтрованной вакуумно-дуговой плазмы / И. И. Аксенов [и др.] // ВАНТ. – 2008. – № 1. – С. 136–141.
12. Аксенов, Д. С. Подавление эмиссии макрочастиц в вакуумно-дуговых источниках плазмы / Д. С. Аксенов, И. И. Аксенов, В. Е. Стрельницкий // ВАНТ. – 2007. – № 6. – С. 106–115.
13. Аксенов, Д. С. Вакуумно-дуговые источники эрозионной плазмы с магнитными фильтрами: обзор / Д. С. Аксенов, И. И. Аксенов, В. Е. Стрельницкий // ВАНТ. – 2007. – № 2. – С. 190–202.
14. Устройство для получения покрытий в вакууме: пат. ВУ 1375, С 23 С 14/38, С 23 С 14/00. 1996 / Б. Л. Фигурин, В. Н. Ковалевский, А. К. Вершина, Н. М. Яковчик, К. Б. Фигурин.
15. Устройство для очистки плазмы дугового испарителя от микрочастиц: пат. ВУ 9539, С 23 С 14/32. 2007 / А. К. Вершина, В. А. Агеев, С. Д. Латушкина, И. Ю. Плескачевский.