

**В.М. Константинов**, доктор технических наук  
**В.Г. Дашкевич**, кандидат технических наук  
**Г.В. Стасевич**, старший научный сотрудник  
**А.В. Ковальчук, В.Г. Щербаков, Д.В. Гегеня**,  
младшие научные сотрудники

*Филиал Белорусского национального технического университета  
«Научно-исследовательская часть», НИЛ упрочнения стальных  
изделий, г. Минск*

### **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Научно-исследовательская лаборатория упрочнения стальных изделий филиала Белорусского национального технического университета «Научно-исследовательская часть» с 1966 г. занимается исследованиями и разработками в области химико-термической обработки материалов и получением на поверхности стальных изделий покрытий различного функционального назначения. В составе лаборатории 14 научных работников, из них 3 доктора и 4 кандидата наук.

Коллективом лаборатории изучены и детально описаны процессы борирования, силицирования, карбидизации, карбонитрирования, алитирования, цинкования, хромирования и другие, а также процессы многокомпонентного насыщения на основе бора, хрома, кремния и алюминия. Под руководством известных ученых профессоров Л.С. Ляховича, Л.Г. Ворошнина в разные годы были изучены термодинамика, химизм, кинетика и механизмы формирования диффузионных слоев, в том числе при многокомпонентном насыщении.

Лабораторией разработано и детально исследовано более 100 диффузионных слоев моно- и многоцелевого назначения для различных условий эксплуатации ряда металлических материалов (износостойкие, антикоррозионные, жаростойкие, кавитационностойкие и др.). Разработанные способы обработки металлических изделий защищены десятками авторских свидетельств и патентов Республики Беларусь. Разработанные технологические процессы и среды регламентированы ГОСТ-90 «Термодиффузионное упрочнение и защита металлических изделий» и ТУ ВУ 100232486.028-2008 «Среды порошковые насыщающие». Большой вклад в эти работы внесли руководившие лабораторией в разные годы кандидаты технических наук Б.С. Кухарев и Н.Г. Кухарева.

Большинство научных направлений, сформированных на протяжении деятельности лаборатории, не теряют актуальности и в настоящее

время. Основные разработки направлены на создание научных и технологических основ получения термодиффузионных покрытий функционального назначения, формирование научных основ и принципов получения порошковых сред для химико-термической обработки с использованием метода внепечной металлтермии, разработку технологических принципов регенерации полученных порошковых сред для создания безотходных технологических процессов, исследование и оптимизацию поверхностной термической обработки металлов и сплавов с использованием индукционного нагрева и др. В лаборатории упрочнения стальных изделий активно продолжается развитие теоретической и инструментальной базы создания новых высокоэффективных процессов поверхностного упрочнения металлических материалов. В данной статье кратко представлены некоторые перспективные разработки последних лет.

1. Разработанный процесс поверхностного термодиффузионного легирования бором по стабильности и своим технико-экономическим показателям не уступает и даже превосходит однотипные, разработанные зарубежными фирмами BorTec GmbH (Германия), Worldwide Alloy Surfacing Inc (США). Экономическая эффективность порошкового насыщения борирования определяется кратностью использования смеси и используемым борсодержащим веществом. В случае использования наших насыщающих сред стоимость обработки не уступает жидкостному. Возможность термодиффузионного упрочнения деталей с отверстиями диаметром до 50 мкм при их глубине до 200 мм. Гарантируются равномерность покрытия по толщине, отсутствие таких дефектов, как шелушение, отслаивание, скалывание, налипание насыщающей смеси. Максимальные габаритные размеры обрабатываемых деталей ограничиваются лишь объемом нагревательной камеры термического оборудования. Как правило, длина изделий не превышает 500 мм.

Толщина диффузионного слоя в зависимости от назначения и технологических параметров процесса изменяется от 50 до 400 мкм, а твердость может достигать 2000 НВ. Показатель шероховатости поверхности детали в результате обработки сохраняется на уровне исходного – 8-й класс. Дополнительную механическую обработку (при необходимости) рекомендуется осуществлять с использованием алмазного инструмента или его аналогов. Технология термодиффузионного поверхностного легирования бором применима во многих отраслях промышленности, где речь идет об абразивном износе поверхностей деталей машин. К ним можно отнести сельское хозяйство, добывающую отрасль, машиностроение и др. Технология заключается в борировании в порошковых смесях, содержащих определенные компоненты, при

печном нагреве в герметизируемом контейнере. Подбор состава насыщающей смеси и управление температурно-временными параметрами насыщения позволяют получить высокие физико-механические и эксплуатационные свойства обрабатываемой поверхности, отсутствие скальваемости диффузионного слоя и других дефектов.

Предлагаемая технология и состав насыщающих смесей позволяют значительно повысить износостойкость деталей, что обуславливается высокой твердостью и абразивной стойкостью поверхностного слоя после борирования. Наша технология борирования является экономичной и производительной, обеспечивает получение высоких физико-механических и эксплуатационных свойств деталей, работающих в условиях абразивного износа.

2. Термодиффузионное цинкование – один из наиболее перспективных способов нанесения защитных покрытий на стальные, чугунные или медные изделия. Эти покрытия имеют свойства, не достижимые другими видами цинкования, и поэтому являются особенно предпочтительными в ряде областей эксплуатации. Применяются для защиты от коррозии различных металлоизделий, эксплуатирующихся в жестких коррозионно-эрозионных условиях.

Покрытия, полученные методом термодиффузионного цинкования, имеют существенные преимущества по сравнению с покрытиями, полученными методом горячего оцинкования, так как процесс протекает при более низких температурах и это позволяет цинковать термообработанные, в том числе пружинные стали, без потери их механических свойств. Покрытия, полученные в порошке цинка, имеют самую высокую твердость из всех известных цинковых покрытий и низкий коэффициент трения, поэтому они хорошо противостоят абразивному износу и деформации, гайки не ослабевают в процессе эксплуатации. Спряженные детали не нужно механически обрабатывать (прорезать резьбу после нанесения покрытия). Гладкая матовая поверхность служит прекрасной основой для прочного сцепления с краской, резиной, клеем, не требуя при этом специальных грунтовых покрытий. Некоторые преимущества:

- диффузионные цинковые покрытия состоят из слоев железо-цинк (от 7 до 20 % железа), образующихся путем термохимической диффузии цинка в поверхность изделий в процессе их нагревания в присутствии цинкового порошка;

- покрытие может наноситься на все виды деталей, изготовленных из стали или чугуна с размерами до  $200 \times 200 \times 500$  (В $\times$ Н $\times$ Л) мм;

- по требованию заказчика толщина покрытия может изменяться в пределах от 10 до 100 мкм и более;

- покрытие однородно по толщине, точно воспроизводит профиль изделия в целом и отдельных деталей на нем (резьбу, маркировку и т. д.), формируется в сложных профильных пазах, отверстиях, каналах и т. п.

3. Получение экономичных наплавочных материалов термодиффузионным легированием. Многие детали в различных областях промышленности, особенно в машиностроении, подвергаются интенсивному истиранию и быстро выходят из строя. Для уменьшения износа детали подвергают наплавке или упрочняют другими методами.

Одним из перспективных направлений в разработке наплавочных материалов является использование процесса термодиффузионного легирования. Слой, получаемый на поверхности материала, может влиять или даже регламентировать структуру и свойства наплавленного слоя. Научными сотрудниками лаборатории ведутся активные работы по использованию поверхностно-легированного материала в качестве наплавочного сплава. В этой работе можно выделить следующие направления:

- поверхностное легирование флюсующе-упрочняющими элементами порошков чугунов, в том числе чугунной стружки (стружки чугунов: ИЧХ28Н2, СЧ20);

- поверхностное легирование флюсующе-упрочняющими элементами стальных порошков (самофлюсующиеся порошки: ПР-сталь 45, ПР-10Р6М5, ПР-Х18Н9);

- поверхностное легирование флюсующе-упрочняющими элементами стальных проволок (проволоки: У7, сталь 08).

*Диффузионно-легированные порошковые материалы для наплавки.* Отличительная особенность – использование в качестве исходного компонента отходов производства в виде стружки или дроби. При этом достигается резкое снижение затрат на наплавочный материал. Применяется такой материал, как правило, для индукционной наплавки. Порошковую шихту наносят на обрабатываемую поверхность слоем заданной толщины, затем индуктором разогревают поверхность детали и порошок. Формируется износостойкая наплавка толщиной порядка 1,0–2,0 мм. Пористость полученных слоев составляет порядка 3–5 %. При использовании чугунной дроби структура наплавленного слоя имеет участки доэвтектического, эвтектического и заэвтектического строения, твердость наплавленных слоев 50...60 НРС.

*Присадочные прутки и проволока для наплавки.* Отличительная особенность – введение легирующих элементов в количестве, необходимом для достижения требуемых физико-механических свойств и износостойкости деталей. В целях создания наплавочного материала для деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания, перспективными

являются борсодержащие поверхностно-легированные проволоки, разработанные нашими сотрудниками.

4. Совместно с коллективом НИИ прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко БГУ под руководством члена-корреспондента НАН Беларуси Ф.Ф. Комарова разработан комплексный способ поверхностного упрочнения стальных изделий с использованием химико-термической обработки и вакуумных ионно-плазменных технологий (нанесение высокотвердого покрытия). Способ позволяет в 4,5–5,1 раза повысить микротвердость, в 4,1–7,0 – износостойкость и более чем в 2,5 раза – коррозионную стойкость изделий из конструкционных сталей путем формирования на их поверхности нового композиционного материала.

В качестве предварительной обработки используется низкотемпературная нитроцементация в порошковых смесях, которая обеспечивает повышение усталостной прочности на 50–80 %, резкое повышение сопротивления изнашиванию по сравнению с цементацией и азотированием. Получаемые на поверхности нитридные и карбидные фазы даже при отсутствии смазочного материала не проявляют склонности к схватыванию и последующему катастрофическому изнашиванию. Для последующего нанесения твердого покрытия она обеспечивает появление протяженного переходного слоя с постепенно нарастающей твердостью между материалом изделия и покрытием. В качестве покрытия используется нитрид титана, который широко распространен, дешев и обладает высоким уровнем триботехнических характеристик. Покрытие может легироваться алюминием.

Существенным преимуществом предлагаемой комбинированной обработки является возможность ухода от стандартной объемной упрочняющей обработки и финишных доводочных операций. Области эффективного использования: инструментальное производство, штамповочное производство и технология пластмасс, подшипниковое производство, механообработка и прецизионная механика, ткацкая и текстильная промышленность, детали общего машиностроения.

*Поступила 03.03.2015*

УДК 621.373.826:621.762

**О.О. Кузнецик<sup>1</sup>, П.Н. Василевский<sup>2</sup>**, научные сотрудники

<sup>1</sup>Государственное научное учреждение «Институт порошковой металлургии», г. Минск

<sup>2</sup>Государственное научное учреждение «Физико-технический институт НАН Беларуси», г. Минск

### **ОБРАБОТКА ИМПУЛЬСНЫМИ ПОТОКАМИ ВОЗДУШНОЙ ПЛАЗМЫ ПОВЕРХНОСТИ КОНСТРУКЦИОННОЙ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ**

**Аннотация.** Рассмотрена функциональная схема и приведены характеристики импульсно-плазменной установки, генерирующей импульсные потоки воздушно-импульсной плазмы. На основе анализа металлографических исследований структурных изменений в поверхностном слое стали 45 показана возможность использования воздушной импульсно-плазменной обработки конструкционных среднеуглеродистых сталей, используемых в дальнейшем для изготовления быстроизнашиваемых деталей кормоуборочных машин, для повышения прочностных и износостойких их поверхностных слоев с сохранением в приповерхностных слоях пластичности на уровне конструкционных низкоуглеродистых сталей.

Благодаря возникающей при термической обработке модификации, приводящей к формированию закалочных структур в материале конструкционных среднеуглеродистых сталей, эти стали получили широкое применение в машиностроении, приборостроении и других отраслях промышленности для изготовления деталей машин, деталей трубопроводной арматуры и несущих элементов конструкций [1–3]. Появление в конструкционных среднеуглеродистых сталях закалочных структур приводит к повышению их твердости, прочности и износостойкости с одновременным уменьшением пластичности. Учитывая, что для деталей машин, формирующих узлы трения или сопряжения, которые в процессе эксплуатации испытывают пульсирующие переменные нагрузки, требуются материалы, поверхностный слой которых обладает повышенными прочностными и износостойкими свойствами, а приповерхностный – имеет пластичность на уровне конструкционных низкоуглеродистых сталей, поэтому развитие перспективных технологий термической обработки, вызывающей поверхностную модификацию конструкционных среднеуглеродистых сталей, является перспективным направлением для металлургии и сварочного производства [4]. Эта задача может решаться путем развития технологий импульсно-плазменной обработки, в которых в качестве плазмообразующего вещества используется воздух [5, 6].