

зрения которого оцениваемый метод неприемлем. Анализ показывает, что наиболее дорогими среди методов нанесения покрытий в вакууме являются технологии ионного осаждения, которые однако по свойствам формируемых покрытий и по материалу покрытия имеют наибольшее преимущество.

Приведенные данные говорят о том, что чем более высокую степень ионизации и энергию частиц потока допускает метод, тем более перспективным и универсальным является он для машиностроения. В сравнении с традиционно используемыми в инструментальном производстве металлургическими методами (ХТО) и методами химического осаждения, вакуумно-плазменные способы осаждения поверхности наиболее полно отвечают требованиям формирования на рабочих покрытиях РИ плотных конденсатов с высокими эксплуатационными свойствами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Спрос на металлорежущие инструменты будет расти// Деловой визит. – 1999. – № 5. – С.54.
2. Stagnation auf hohem Niveau/ Sengebusck W.// Werkzeuge. – 1999. – Sonderpubl. № 1. – P.70, 72.
3. Емельянов В.А., Иванов И.А., Мрочек Ж.А. Вакуумно-плазменные способы формирования защитных и упрочняющих покрытий. – Мн.: БЕС-ТПРИНТ, 1998. – 284 с.
4. Вакуумные покрытия в машиностроении. – 1981. – 40 с.
5. Барвинок В.А. Управление напряженным состоянием и свойства плазменных покрытий. – М: Машиностроение, 1990. – 383 с.
6. Зеленин В.А., Миньков А.Л. Перспективы развития и использования вакуумных методов нанесения покрытий// Ресурсосберегающие технологии/Под ред. А.И.Свириденко, Гродно, БИТА, 1995. – Ч. 2. С. 103–109.
7. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин/Н.В.Спиридонов и др. Под ред. В.Н.Чачина. – Мн.: Выш.шк., 1988. – 56 с.
8. Костржицкий А.И., Лебединский О.В. Многокомпонентные вакуумные покрытия. – М.: Машиностроение, 1987. – 207 с.

УДК 621.785.048:669

Н.В. Спиридонов, А.С. Володько, В.В. Зенкевич, Л.И. Пилецкая

### УПРОЧНЕНИЕ НИКЕЛЬ-ТИТАНОВЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

*Белорусская государственная политехническая академия*

*Минск, Беларусь*

К основным контролируемым параметрам газотермических покрытий относится адгезия покрытий к основе – одна из наиболее важных прочностных характеристик, влияющих на эксплуатационные свойства поверхности деталей машин и оборудования. Она определяется характером механо-физико-химических процессов взаимодействия

ствия материалов покрытия и подложки в процессе формирования поверхности. Роль каждого из этих процессов меняется в зависимости от многих факторов, свойств материалов покрытия и подложки, способа и режимов нанесения покрытия. Как правило, прочность сцепления напыленных газотермических покрытий невелика и не превышает 50–10 МПа. Прочность сцепления можно значительно повысить последующей обработкой покрытий высококонцентрированными потоками энергии. Поэтому большой практический интерес представляет определение влияния на прочностные характеристики покрытий высококонцентрированной энергии, такой как лазерной.

В качестве исходного материала для покрытий использован порошок марки ПН55Т45, представляющий собой интерметаллическое соединение никеля с титаном с гранулометрическим составом частиц до 160 мкм. В качестве материалов основы выбраны стали 20 и 45. Нанесение покрытий проводилось с использованием плазменной установки УПУ-3Д, последующая лазерная обработка – на технологической установке непрерывного действия ЛНГ-702. Адгезия покрытий сцепления определялась на разрывной машине МР-0,9-1.

Режимы лазерной обработки выбирались таким образом, чтобы термоупрочнение происходило без оплавления и с оплавлением покрытий. При толщине покрытия 0,4 мм глубина проплавления варьировалась от 0,2 до 0,6 мм, т.е. до подплавления материала основы. При этом происходило химическое взаимодействие по всей границе “покрытие-подложка”, а затем конвективное перемешивание контактирующих материалов. В результате оплавления образуется металлическая связь между покрытием и подложкой с увеличенной переходной диффузионной зоной. При этом структура покрытия уплотняется. Если химическое взаимодействие не получило достаточного развития из-за низкой прочности сцепления и наличия несплошностей на границе “покрытие-подложка” на стадии формирования покрытий, повысить прочность сцепления оплавлением не удастся.

Рентгеноструктурный анализ покрытий, обработанных лазерным излучением, показал изменение фазового состава их структуры (табл. 1). При этом прочность сцепления покрытия с подложкой увеличивается в результате развития процессов взаимодействия между напыленным материалом и подложкой. С ростом температуры образуются новые очаги химического взаимодействия в зоне контакта материалов, что особенно заметно при подготовке поверхности перед напылением в форме “рваной резьбы”.

При нагреве покрытия лазерным излучением до температуры, близкой к температуре плавления материала покрытия, происходит значительное увеличение прочности сцепления покрытия с подложкой (до 130 МПа), т.к. при этом формируется диффузионная зона между покрытием и подложкой. При дальнейшем нагреве покрытия лазерным излучением до температуры, близкой к началу плавления материала подложки, отмечается максимальная прочность сцепления с подложкой (190 МПа и выше).

**Изменение фазового состава структуры покрытий,  
обработанных лазерным излучением**

Температура поверхностного слоя, °С	Прочность сцепления, МПа	Основная фаза
800	60-65	Ti <sub>2</sub> Ni + TiNi <sub>3</sub>
1200	100-130	TiO <sub>2</sub> + TiNi <sub>3</sub>
1300	190	TiO <sub>2</sub>

Рентгеноструктурным анализом установлено появление фазы TiO<sub>2</sub> и практически исчезновение TiNi-фазы в покрытии при температуре, близкой к температуре плавления подложки.

Таким образом, при обработке лазерным лучом плазменных покрытий из сплава ПН55Т45 происходит увеличение прочности сцепления с подложкой от 60 до 190 МПа, т.е. до 3 раз и более.

Данную технологию получения покрытий можно использовать для высоконагруженных пар трения – деталей машин и оборудования металлургического, энергетического, химического, нефтедобывающего и других производств, где требуются высокая износостойкость, устойчивость к коррозии.

При использовании технологии нанесения плазменных никель-титановых покрытий с последующей лазерной обработкой на шейки крупногабаритных валов – типа роторов нефтяных насосов износостойкость повышается в 1,5–2 раза.

УДК 621.793

Н. В. Спиридонов, В. В. Зенкевич

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРНОГО УПРОЧНЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ИЗ ОКИСИ АЛЮМИНИЯ

*Белорусская государственная политехническая академия  
Минск, Беларусь*

Основными требованиями к режимам лазерной обработки осажденных покрытий из окиси Al являются создание условий перехода g- в a-модификацию кристаллической решетки, получение плотной, беспористой структуры и прочной связи с подложкой, исходя из чего и должны задаваться параметры теплового процесса.

Анализ явлений, протескающих при обработке покрытий концентрированными потоками энергии, показал, что для получения качественных поверхностных слоев из керамических материалов тепловой процесс должен протекать в режиме спекания без