

аспирантуры. Но суть даже не в этом. Важно, что страна получает специалиста с инновационным мышлением.

Помимо непрестижности преподавательского труда на низкой эффективности аспирантуры сказывается несовершенство системы защиты диссертаций. Часть выпускников так и не решаются дойти до защиты. Здесь много причин. Написать кандидатскую диссертацию и ее защитить – большая и тяжелая работа, за которую еще и платят немного. Вторая причина – в достаточно высоких требованиях Высшей аттестационной комиссии к диссертациям.

Эта система сложилась еще в советские годы. Она является вызовом нормам академических свобод. В мировой практике ученая степень присваивается конкретным университетом. В Беларуси часть диссертаций, прошедших вузовский ученый совет, отклоняется ВАК. С другой стороны, аспиранты просто опасаются выходить на защиту диссертации, потому что не знают, чем это закончится. Поэтому стоило бы несколько смягчить требования к диссертационным работам.

Все же в нашей стране молодой ученый достаточно защищен и ощущает на себе заботу государства. Может быть, государство не может дать ему сразу высокую зарплату, зато этот заработок стабильный. И, конечно, у него хорошие перспективы в будущем. Работа в науке очень интересная, уважаемая в обществе. Это возможность работать на международном уровне, увидеть мир, показать себя и свою страну.

**УДК 621.793.7**

## **ТРЕБОВАНИЯ К ГАЗОТЕРМИЧЕСКИМ ПОКРЫТИЯМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ**

**Н. В. Спиридонов, И. О. Соков, Л. И. Пилецкая,  
Е. В. Домаш, Е. Л. Бузун**

*Белорусский национальный технический университет, Минск*

*Представлены требования к газотермическим покрытиям, предназначенным для дальнейшей обработки концентрированными потоками энергии (КПЭ), обеспечивающие требуемый комплекс физико-механических свойств.*

Процесс обработки напыленных покрытий КПЭ в режиме оплавления должен обеспечивать высокие эксплуатационные свойства оплавленных слоев покрытия, что определяется следующими условиями: образова-

нием высокой прочности сцепления с основой, достигаемой при установлении химических связей, и выявлением предельных физико-механических свойств наносимого материала.

Перед определением технологических параметров обработки покрытий КПЭ необходимо установить требования к подготовке поверхности перед напылением, определить метод напыления, режимы и толщину напыляемого покрытия.

Подготовка поверхности для газотермического напыления имеет целью формирование ее свойств, облегчающих активацию в процессе напыления. Это достигается при выполнении ряда условий:

- 1) удалении адсорбированных газов, влаги, загрязнений и шаржированных твердых частиц;
- 2) удалении или максимально возможном уменьшении толщины окисных пленок;
- 3) создании определенной микротопографии поверхности;
- 4) нагреве поверхности и создании специальных физико-химических свойств поверхностных слоев деталей.

Так как обработка концентрированными потоками энергии – локальный и высокоскоростной процесс, то окислительные реакции на границе «покрытие – основа» не успевают развиваться и в этом отношении требования к качеству подготовки поверхности являются пониженными по сравнению с обработкой объемными тепловыми потоками.

Могут применяться широко используемые на практике механические способы подготовки поверхности, в основе которых лежат пластическое деформирование и разрушение поверхностного слоя материалов. Наиболее эффективными являются методы, основанные на откалывании материала основы. Поверхность скола имеет повышенную плотность подвижных структурных дефектов, прежде всего дислокаций и их скоплений, ответственных за развитие процесса пластической деформации основы при напылении. В результате формируется характерная для каждого способа шероховатость поверхности, а пластическая деформация, как правило, приводит к измельчению зерна в поверхностном слое и некоторому его текстурированию, что является благоприятным с точки зрения повышения прочности сцепления покрытия с основой (за счет повышения энергии связи). Области выхода скопления дислокаций на поверхность представляют собой активные центры, в которых преимущественно протекает взаимодействие контактирующих материалов. Относительная прочность сцепления частицы с основой составляет:

$$G = \Delta\varepsilon \frac{S}{b} \sqrt{\rho},$$

где  $\Delta\varepsilon$  – прирост пластической деформации основы при соударении с напыляемой частицей;

$S$  – площадь активного центра;  $S \approx \pi(15b)^2$ ;

$b$  – модуль вектора Бюргерса;

$\rho$  – плотность дислокации в поверхностном слое основы.

Параметры шероховатости основы, оптимальные для образования прочного соединения, зависят как от физических характеристик напыляемых частиц и их размеров, так и от свойств поверхности основы. С ростом высоты микровыступов растет пластическая деформация вершин микровыступов и ухудшаются условия контакта во впадинах. При микронеровностях, соизмеримых с напыляемыми частицами, роль микровыступов в активации образования связи невелика. Их значение повышается при небольшой пластической деформации основы.

Выбор метода нанесения покрытий под последующую обработку концентрированными потоками энергии определяется такими качественными характеристиками слоя, как прочность сцепления, плотность, равномерность по толщине и окисляемость. Последняя характеристика является малоисследованной, но имеет исключительно большое значение для скоростных высокотемпературных процессов. Оксидные включения в покрытиях и на границе с основой из-за низкой теплопроводности являются тепловыми барьерами и ведут к перегреву этих участков.

Исследование окисляемости покрытий при плазменном и газопламенном методах в зависимости от режимов процессов представлено на рисунке 1.

В целом окисляемость покрытий ниже при плазменном напылении, что объясняется меньшей продолжительностью нахождения частиц напыляемого материала при высокой температуре и инертностью среды, в которой происходит напыление, по сравнению с газопламенным методом. Из режимов наиболее значительное влияние на содержание кислорода в покрытии при плазменном напылении оказывает расход плазмообразующего газа, в меньшей мере – дистанция напыления и сила тока.

При газопламенном напылении наиболее существенное влияние на окисляемость оказывают давление кислорода в горючей смеси и дистанция напыления.

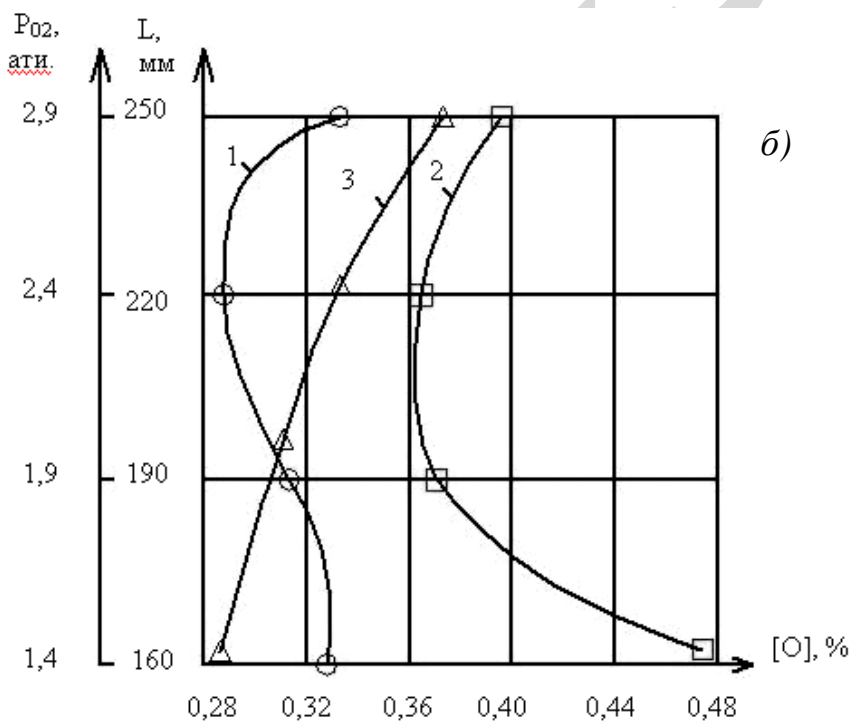
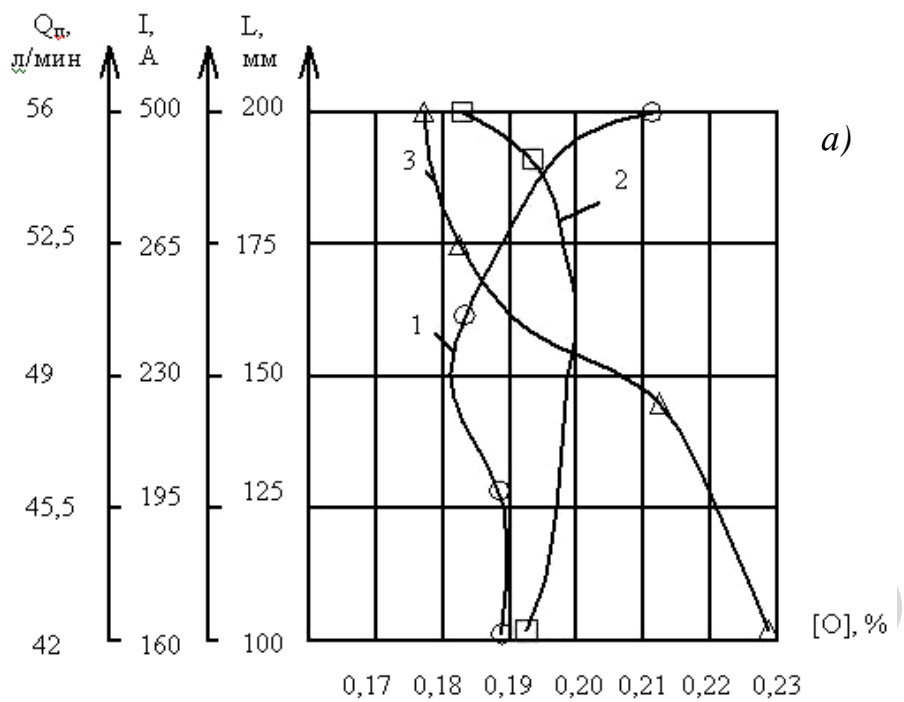


Рис. 1. Окисляемость покрытий при газотермическом напылении:  
 а) плазменное напыление: 1 – изменение дистанции напыления  $L$ , ( $I = 200 \text{ А}$ ,  $U = 95 \text{ В}$ ,  $Q_n = 52 \text{ л/мин}$ ); 2 – изменение силы тока  $I$ , ( $U = 95 \text{ В}$ ,  $L = 160 \text{ мм}$ ,  $Q_n = 52 \text{ л/мин}$ ); 3 – изменение расхода плазмообразующего газа  $Q$ , ( $I = 200 \text{ А}$ ,  $U = 95 \text{ В}$ );  
 б) газопламенное напыление: 1, 2 – изменение дистанции напыления  $L$ , ( $P_{O_2} = 1,8 \text{ ати}$ ,  $P_{O_2} = 2,8 \text{ ати}$ ); 3 – изменение давления кислорода  $P_{O_2}$ , ( $L = 200 \text{ мм}$ )

Наиболее предпочтительным методом нанесения покрытий под последующую обработку концентрированными потоками энергии в отношении окисляемости и других характеристик покрытия – прочности сцепления и плотности является плазменное напыление при следующих режимах:  $I = 230... 265$  А;  $L = 150... 175$  мм;  $Q_{п} = 49... 52,5$  л/мин. Можно применять и газопламенное напыление при режимах:  $P_{O_2} = 1,9... 2,4$  ати,  $L = 160... 200$  мм, но с несколько худшими качественными показателями покрытий, что вполне допустимо для малоответственных деталей.

**УДК 621.793**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**И. О. Соков, Н. В. Спиридонов, А. С. Володько**  
*Белорусский национальный технический университет, Минск*

*Представлены результаты исследования композиционных покрытий, формируемых газотермическим напылением с последующей термической обработкой (оплавление). На основе полученных результатов выбраны композиции рекомендованные для упрочнения-восстановления деталей легкой промышленности.*

Достигнутый уровень физико-механических и эксплуатационных свойств газотермических покрытий позволяет использовать их для упрочнения-восстановления деталей пар трения, работающих в условиях интенсивного изнашивания, в широком диапазоне удельных нагрузок и скоростей скольжения. На способность покрытий выдерживать в процессе изнашивания определенные силовые воздействия влияют характер приложения нагрузки, а также форма и жесткость детали.

Технологический процесс нанесения покрытий включает подготовку порошкового материала, детали и собственно нанесения покрытия. Перед напылением производили дробеструйную обработку поверхности. Предложено две технологии плазменного и газопламенного напыления с оплавлением.

Технологические параметры плазменного напыления с учетом проведенных экспериментальных исследований (установка УПУ-3Д): сила тока дуги –  $240...250$  А; напряжение –  $80...85$  В; дистанция напыления –  $170...180$  мм; расход плазмообразующего газа –  $3,0...3,5$  м<sup>3</sup>/ч; расход порошка –  $1,5...2,5$  кг/ч.

При газопламенном напылении (установка ТРУ-БПИ): дистанция напыления  $L = 200$  мм, расход горючего газа МАФ –  $1...1,2$  м<sup>3</sup>/ч, расход кислорода –  $4,5...5$  м<sup>3</sup>/ч, расход воздуха –  $0,2$  м<sup>3</sup>/ч. Рекомендуемая толщина покрытия, напыляемая за один ход горелки  $h_x = 0,25$  мм.