

tural-phase state from the initial to the state of the finished product by the method of transmission electron microscopy.

Key words: *structural phase state, machining, transmission electron microscopy*

УДК 621.793.79

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ
ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ
ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВАЛОВ ТУРБОУСТАНОВОК**

Пономарев Алексей Иванович, к.т.н.

(e-mail: apon2005@yandex.ru)

Аксёнов Андрей Сергеевич, аспирант

(e-mail: andr.aksenow@yandex.ru)

*Калужский филиал Московского государственного технического
университета имени Н.Э. Баумана, Калуга, Россия*

В данной статье рассматриваются результаты исследования твердости покрытий после газодинамического напыления алюминиево-цинковых, медных и медно-цинковых порошков на образцы, соответствующие материалу деталей турбин. Разработаны рекомендации по выбору режимов газодинамического напыления валов турбоустановок и по предварительной подготовке поверхности перед напылением слоёв малой толщины с целью повышения прочности их сцепления с основным металлом.

Ключевые слова: газодинамическое напыление, образец, микротвёрдость, прочность сцепления, механическая обработка, травление, фальшвал.

Поверхности валов турбинных установок, изготавливаемые на ОАО «Калужский турбинный завод», при получении брака приходится восстанавливать различными технологиями наращивания металла. Для этого требуется нанести в среднем слой толщиной до 0,5 мм с твёрдостью в пределах значений от 80 до 120 единиц по Виккерсу [1]. Таким параметрам вполне удовлетворяют мягкие цветные металлы. На этом основании при выборе технологии наращивания металла было принято решение использовать для восстановления валов турбоустановок технологию газодинамического напыления.

Газодинамическое напыление порошков на основе алюминия, цинка и меди осуществляется при помощи оборудования «ДИМЕТ», выпускаемого Обнинским центром порошкового напыления, в котором частицы порошка ускоряются сверхзвуковым потоком воздуха, нагреваемого в интервале температур от 50 до 150 градусов Цельсия [2].

Для исследования твёрдости покрытия после газодинамического напыления было проведено исследование трёх контрольных образцов (пластин) (рис. 1).



Рисунок 1 – Лабораторные образцы (пластины)

Напыление осуществлялось на режимах, приведённых в табл. 1, с использованием различных порошков из смеси алюминия, меди и цинка в разных пропорциях (табл. 2) с помощью установки ДИМЕТ-405. Вылет сопла установки до образца составлял во всех случаях 10...12 мм.

Таблица 1 – Параметры режима газодинамического напыления образцов

№ образца	Режимы процесса		Компоненты покрытия
	Нагрев воздушного потока: градус Цельсия	Подача порошка: кг в секунду	
1	80	0,0016	Al+Zn+($\leq 15\%$) абразив
1	80	0,0022	Cu+($\leq 15\%$) абразив
2	80	0,0027	Cu+Zn+($\leq 15\%$) абразив
3	80	0,0031	Cu+Zn+($\leq 15\%$) абразив

Твёрдость покрытия на контрольных образцах после напыления, измеренная микротвёрдомером «Duramin-5» при нагрузке 100 г, принимала значения от 63,1 до 137,9 единиц по шкале Виккерса (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты исследования образцов

№ образца	Напыляемый порошок	Микротвёрдость по Виккерсу
1	A-80-13 (Алюминий + цинк)	63,1...69,2
1	C-01-01 (Медь)	99,5...109,2
2	C-01-11 (Медь+цинк)	100,1...135,2
3	C-01-11 (Медь+цинк)	107,9...137,9

Отсюда, можно сделать вывод, что твердость образцов, напылённых медным и медно-цинковым порошком, удовлетворяют требованиям, предъявляемым к поверхностной твердости деталей турбоустановок ОАО «Калужский турбинный завод». Напыление рекомендуется выполнять, используя режимы, указанные в табл. 1.

Для возможности проверки на прочность покрытия при последующей токарной обработке было решено провести экспериментальное газодинамическое напыление фальшвалов, представляющих собой ступенчатые валы из Стали 20. Диаметр напыляемой шейки фальшвалов составлял 70,1 мм, а длина – 70 мм. Первый образец (фальшвал) был предварительно об-

работан корундом, а затем – ветошью, смоченной в уайт-спирите. Параметры режима напыления варьировались в пределах, соответствующих параметрам контрольных образцов 2 и 3 (табл. 1). Процесс напыления происходил на расстоянии 10...12 мм от напыляемой поверхности до сопла. Во всех режимах напыления за один полный проход получена относительно одинаковая равномерная без трещин толщина покрытия 0,1 мм. В результате напыления после четырёх проходов было получено покрытие с относительно равномерной толщиной в 1 мм, требующее последующей механической обработки. Токарная обработка производилась на минимальных оборотах шпинделя – не более 100 об/мин проходным резцом с твердосплавными пластинами и проходила без отслоения напыленного слоя только на ранних этапах проточки (глубина резания 0,05...0,1 мм). Далее при обработке возникали дефекты отслоения слоя (трещины, сколы). Максимальная толщина напылённого слоя до возникновения трещин при обработке составила 0,25...0,3 мм.

Второй образец (фальшвал) из того же материала и с такими же геометрическими параметрами, что и первый, был предварительно обработан точением с получением заведомо грубого 7-го...8-го классов шероховатости (Ra 1,26...0,63 и 0,63...0,32 соответственно). Далее было выполнено травление поверхности, которое заключалось в обезжиривании подогретым до 50 градусов Цельсия раствором Деталана А-10 и последующей активацией раствором соляной кислоты. Обезжиривание проводилось струйно-обливным способом с обильным промыванием водой. Химическая активация проводилась раствором соляной кислоты с концентрацией 50 г/л в течение 10-15 секунд с дальнейшим обильным промыванием водой. Газодинамическое напыление порошка из меди С-01-01 проводилось в режимах, соответствующих контрольным образцам 2 и 3 (табл. 1). Напыление порошком С-01-01 производилось на половину длины шейки.

Применение травления и повышенная шероховатость поверхности позволили в дальнейшем осуществлять токарную обработку без признаков трещин и отслоения. Так была достигнута более высокая прочность сцепления покрытия с основным металлом. При этом механическую обработку можно было вести до полного стачивания покрытия без проявления дефектов. Даже при намеренном увеличении глубины резания (почти до основного металла) отслоения на границе перехода от напылённого слоя к основному металлу не наблюдались (рис. 2).

Выводы. 1. Нарращивание поверхностей валов турбоустановок из Стали 20 рекомендуется выполнять газодинамическим напылением порошка на основе цинка или меди и цинка с подогревом воздушной смеси в пределах 80...150 С и диапазоне расхода порошка от 0,002 до 0,003 кг/с.

2. При получении слоёв малой толщины (0,1...0,2 мм) методом газодинамического напыления деталей турбин из конструкционных сталей рекомендуется для активации поверхности основного металла проводить следующую предварительную обработку: точение с получением 7-го...8-го

квалитета чистоты; химическое травление раствором Деталана А-10; обработка раствором соляной кислоты с последующей промывкой водой.

3.



Рисунок 2 – Слой напыления медным и медно-цинковым порошком на фальшвал с наглядным подтверждением отсутствия дефектов после токарной обработки

Список литературы

1. Разработка технологических рекомендаций по наращиванию деталей турбин слоями малой толщины газодинамическим напылением / Пономарев А.И., Алакин В.М. // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2019. - № 10. - С. 35-40.
2. Холодное газодинамическое напыление. Теория и практика. / Под ред. В.М. Фомина. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 536 с.

RESEARCH OF THE PROPERTIES OF COATINGS AFTER GAS-DYNAMIC SPRAYING FOR RESTORING TURBINE SHAFTS

Ponomarev Alexey Ivanovich, candidate of technical Sciences

(e-mail: apon2005@yandex.ru)

Aksenov Andrey Sergeevich, graduate student

(e-mail: andr.aksenow@yandex.ru)

Kaluga Branch of Moscow State Technical University after N.E. Bauman, Kaluga, Russia

This article discusses the results of the study of the hardness of coatings after gas-dynamic deposition of aluminum-zinc, copper and copper-zinc powders on samples corresponding to the material of turbine parts. Recommendations on the choice of modes of gas-dynamic spraying of turbine shafts and on preparation of the surface before spraying layers of small thickness in order to increase the strength of their adhesion to the base metal are developed.

Keywords: *gas-dynamic sputtering, sample, microhardness, adhesion strength, mechanical processing, etching, false shaft.*