

**ФОРМИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ  
ГАЗОПЛАМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ  
С УЛЬТРАЗВУКОВОЙ АКТИВАЦИЕЙ**

**П. Г. Сухоцкий, В. К. Шелег**

*Белорусский национальный технический университет, Минск*

**М. А. Белоцерковский**

*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск*

*Предложены способы формирования стальных износостойких покрытий газопламенным напылением с ультразвуковой активацией.*

Одними из наиболее эффективных методов восстановления, упрочнения и защиты быстроизнашивающихся деталей машин и элементов конструкций зарекомендовали себя технологии, основанные на распылении проволочных материалов. Там, где не требуется наносить слои из керамики, жаропрочных композитов, а восстановлению подлежат детали из сталей, чугунов, цветных металлов и их сплавов, то есть деталей машин и механизмов общемашиностроительного профиля, рационально использовать газопламенное напыление (ГПН) проволоки. Это относится, прежде всего, к реставрации и упрочнению деталей узлов трения (осей валиков, коленчатых валов, подшипников скольжения, направляющих) и посадочных мест под подшипники в корпусах и на валах.

В результате исследований, ранее проведенных в Объединенном институте машиностроения, отмечено аномально высокое количество аустенита в газопламенных покрытиях, напыленных проволоками из сталей мартенситного класса. Авторами данной работы было предположено, что термическая стабилизация аустенита в покрытиях существенно зависит от размера распыляемых частиц стальных проволок всех классов. При этом для сталей мартенситного класса эта зависимость выражена сильнее, чем для инструментальных сталей, а для конструкционных рессорно-пружинных сталей она минимальна.

Для оценки влияния размеров распыляемых частиц на количество метастабильного аустенита в покрытиях при распылении сталей мартенситного класса были проведены исследования на установках электрометаллизации ЭМ-14, гиперзвуковой металлизации АДМ-10, газопламенного проволочного напыления МГИ-4П и газопламенного проволочного напыления «ТЕРКО-2». В комплектацию термораспылителя «ТЕРКО-2» входит помимо обычной распылительной головки также головка, снабженная га-

зоструйным излучателем типа Гартмана, генерирующим в распыляющей воздушной струе высокочастотные акустические колебания ( $\approx 30$  кГц) с уровнем звукового давления до 130 дБ. Факел пламени формировался горением пропан-кислородной смеси. В качестве распыляемого материала была выбрана проволока из «классической» стали мартенситного класса марки 40X13. Режимы напыления покрытий соответствовали паспортным данным установок, рекомендуемым для формирования покрытий из стальных проволок. В учитываемый размер распыленных частиц входили близкие по диаметру частицы, составлявшие не менее 75 % от общего количества. Содержание остаточного аустенита в напыленных покрытиях определялось методом рентгеноструктурного анализа (дифрактометр ДРОН-3,0 монохроматизированное  $\text{CoK}\alpha$  излучение). Результаты приведены в таблице.

Таблица

Размер распыленных частиц и содержание остаточного аустенита в покрытиях

Метод напыления и используемое оборудование	Состав распыляющей струи и температура нагрева, К	Размер частиц, мкм	Количество остаточного аустенита, об. %
Электрометаллизация, ЭМ-14	воздух 2450 – 2650	55 – 80	12 – 16
Гиперзвуковая металлизация, АДМ-10	пропан – воздух 2500 – 2650	3 – 20	10 – 14
Газопламенное напыление, МГИ -4П	пропан – кислород 1760 – 1800	60 – 90	20 – 24
Активированное газопламенное напыление, «ТЕРКО-2»	пропан – кислород 1760 – 1800	5 – 30	42 – 49

Данные, приведенные в таблице свидетельствуют о том, что на количество остаточного аустенита влияет не только температура нагрева, но для сталей мартенситного класса в большей степени оказывает влияние размер распыленных частиц.

С целью определения оптимального диапазона размеров частиц, распыленных проволок мартенситного класса 40X13, использовали установку «ТЕРКО-2» с распылительными головками, снабженными ультразвуковым активатором и без него. Анализ полученных результатов показывает, что для получения в покрытии из сталей мартенситного класса максимально возможного количества остаточного аустенита (более 40 об.%) необходимо покрытие формировать частицами размером от 5 до 25 мкм. Частицы размером менее 5 мкм интенсивно окисляются с образованием  $\text{FeO}$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , поэтому количество аустенита резко снижается. Увеличение размера частиц более 25 мкм изменяет процессы теплопереноса и характер термической стабилизации аустенита.

Исследование дюрометрических характеристик покрытий из стали 40Х13 после их контакта в течение 5...35 минут при удельной нагрузке 3 МПа в режиме сухого трения со сталью 65Г показало, что деформационное  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращение у покрытий, полученных при акустическом активировании, протекает гораздо более интенсивней, и достигаемые значения твердости выше в 1,5 раза, чем у покрытий, полученных традиционным ГПН.

Таким образом, акустическое активирование процесса распыления проволок из сталей мартенситного класса позволяет увеличить содержание остаточного аустенита в покрытиях до 50 об.%, что обуславливает возможность их упрочнения в процессах трения или механической обработки с повышением твердости от 250 до 750 НV.

**УДК 621.771.8**

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА АМПЛИТУДЫ КОЛЕБАНИЙ ПРОВОЛОКИ ПРИ ГАЗОПЛАМЕННОМ НАПЫЛЕНИИ С УЛЬТРАЗВУКОВОЙ АКТИВАЦИЕЙ**

**П. Г. Сухоцкий, В. К. Шелег**

*Белорусский национальный технический университет, Минск*

**М. А. Леванцевич**

*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск*

*Приведены методика и результаты экспериментальных исследований амплитуды колебаний проволоки, оказывающей существенное влияние на диспергирование напыляемых частиц, при газопламенном напылении с ультразвуковой активацией. Показано, что с увеличением уровня звукового давления наблюдается рост амплитуды колебаний проволоки, однако до определенных пределов, после, которых, амплитуды колебаний стабилизируется. При этом на величину амплитудных значений колебаний существенное влияние оказывает вид материала проволоки и ее диаметр.*

Одним из путей улучшения качества защитных покрытий, формируемых при газопламенном напылении порошковых и проволочных материалов, является использование энергии ультразвуковых колебаний, подводимых как к подложке, так и к распыляемому материалу [1 – 3]. Благодаря этому повышается дисперсность напыляемых частиц, увеличивается их прочность сцепления с основой и значительно снижается пористость сформированных покрытий. При этом для возбуждения подобных колебаний используют стационарные ультразвуковые излучатели, эксплуатация которых возможна только в специализированных помещениях, что создает