

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ АКТИВИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ГАЗОПЛАМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

Белоцерковский М.А.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси  
г. Минск, Беларусь, E-mail: mbelotser@gmail.com

Использование высокоэффективных технологий формирования газотермических покрытий является одним из основных показателей, определяющих на сегодняшний день технический уровень как производства новой, так и ремонта бывшей в эксплуатации техники. Среди методов газотермического напыления особое место занимает процесс газопламенного напыления проволочными материалами (ГПН), отличающийся низкой себестоимостью, более высокими эксплуатационными свойствами покрытий (адгезией, плотностью) по сравнению с напылением порошков, простотой реализации. Как область применения, так и показатели эксплуатационной долговечности ГПН покрытий зависят не только от свойств наносимого материала, но и от величины адгезии и пористости.

Известно [1], что наиболее эффективные методы активирования процессов распыления металлов и газотермического нанесения покрытий основаны на использовании ультразвуковых колебаний, подводимых как к подложке, так и к распыляемому материалу. Однако, применение магнитострикционных преобразователей для активирования процесса плазменного распыления прутков возможно только в стационарных установках, и их крепление на малогабаритных газопламенных термораспылителях представляет достаточно сложную задачу.

Учитывая результаты анализа эффективности использования газоструйных излучателей было предложено встроить генератор типа Гартмана в систему распыления расплавленной проволоки воздухом [2]. С этой целью в головке термораспылителя ТЕРКО-2 была выполнена глухая кольцевая канавка, позволяющая генерировать в воздушном потоке высокочастотные колебания с высоким уровнем звукового давления (рис. 1).

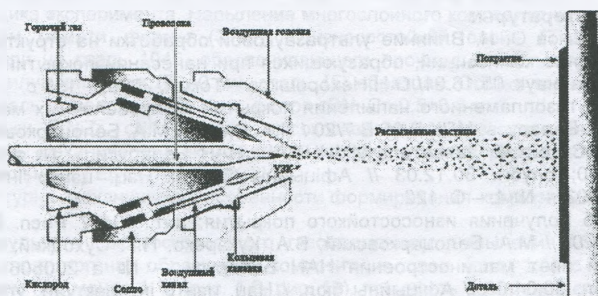


Рисунок 1 – Схема процесса акустически активированного газопламенного нанесения покрытий распылением проволоки

Используя номограммы для расчета газоструйных излучателей и, имея в виду, что давление распыляющего воздуха составляет 0,40–0,55 МПа, а расход более 0,5 м<sup>3</sup>/мин, была изготовлена сопловая система с глубиной резонатора от 2,5 до 4,5 мм. Выполненный акустический активатор позволял генерировать в распыляющем расплавленную проволоку воздушном потоке колебания с частотой до 50 кГц и уровнем звукового давления от 110 до 140 дБ.

Проведенный теоретический анализ показал, что наложение ультразвуковых колебаний при  $W = 2 \cdot 10^4$  Вт/м<sup>2</sup> позволяет диспергировать каплю распыляемого металла с образованием как минимум двух капель. При увеличении интенсивности

ультразвука до 106 Вт/м<sup>2</sup> эффективность диспергирования капель распыляемой про-волоки возрастает более, чем в 20 раз.

Экспериментально установлено, что для получения как стальных, так и бронзовых частиц размером 5–20 мкм в количестве (пх) более 80% от их общего количества (п) необходимо генерировать колебания с частотой не менее 27 кГц. Повышение уровня звукового давления позволяет увеличить пх, причем максимальные значения пх достигаются при меньших частотах генерируемых колебаний. Для стали и бронзы характерно уменьшение эффекта, достигаемого акустическим активированием с повышением частоты более 40 кГц. Пористость покрытий, напыленных без акустической активации, составила 11–13 %, а при использовании распылительной головки с газоструйным излучателем – не более 8%.

В результате проведенных исследований определено, что для обеспечения в потоке распыляемой проволоки частиц мелких фракций не менее 80 % от общего количества частиц, режимные параметры процесса напыления должны быть следующие: уровень звукового давления  $D = 110\text{--}130$  дБ, диаметр проволоки  $d = 1,8\text{--}2,1$  мм, амплитуда колебаний проволоки  $A = 35\text{--}40$  мкм.

Дальнейшие исследования показали, что для получения в стальных покрытиях максимально возможного количества остаточного аустенита (более 40 об.%) необходимо их формировать частицами размером от 5 до 25 мкм, что обеспечивается при ультразвуковом активировании [3]. Частицы размером менее 5 мкм интенсивно окисляются с образованием FeO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, поэтому количество аустенита резко снижается. Необходимость получения максимально большого количества остаточного аустенита в покрытиях объясняется тем, что в процессе трения вследствие интенсивной пластической деформации метастабильный аустенит ( $HV = 200\text{--}300$ ) трансформируется в износостойкий и твердый мартенсит ( $HV = 600\text{--}700$ ) за счет протекания деформационного  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения. Таким образом, твердость поверхности трения покрытий выходит на уровень, недостижимый при обычных методах обработки.

#### **Список литературы:**

1. Нехорошков О. Н. Влияние ультразвуковой обработки на структуру, свойства и разрушение композиций, образующихся при нанесении покрытий и сварке: дис ... канд. техн. наук: 05.16.01/ О.Н.Нехорошков – Томск, 2006. – 158 с.
2. Способ газопламенного напыления покрытий из проволочных материалов: пат. 5768 Респ. Беларусь, МПК В 05 В 7/20 / П.А. Витязь, М.А. Белоцерковский, Ю.В. Полупан, П.Г. Сухоцкий; заявитель ИМИНМАШ НАН Беларуси. – № а 20000511; заявл. 02.06.00; опубл. 30.12.03 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2003. – № 4. – С. 122.
3. Способ получения износостойкого покрытия: пат. 10447 Респ. Беларусь, МПК С 23 С 4/04 / М.А. Белоцерковский, В.А. Кукареко, П.Г. Сухоцкий; заявитель Объединенный ин-т машиностроения НАН Беларуси. – № а 20050618; заявл. 22.06.05; опубл. 30.04.08 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 2. – С. 67.