

# ВЛИЯНИЕ ВЫБРАННОГО МАТЕРИАЛА ПОКРЫТИЯ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ НАПЫЛЕНИЕ НА ХАРАКТЕР ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

## INFLUENCE OF THE MATERIAL OF THE COVERING AT PLASMA THE DUSTING ON CHARACTER OF RESIDUAL PRESSURE

к.т.н., Савинкин В., Дерман А., Коптяев Д.

Северо-Казахстанский государственный университет им. М.Козыбаева – Петропавловск, Казахстан.

**Abstract:** in the article are examined lawfulness of thermal widening of the surface and the base. Under the results of research it became possible to arrange the nature of remain intension in the surface of different junction of materials of the base and the surface, which were made by plasmatic covering. настоящей работе исследованы закономерности процессов термического расширения покрытий и основы

**KEYWORDS:** COVERING, REMAINING INTENSION OF COVERING, BASE, COEFFICIENT OF THERMAL WIDENING.

### 1. Введение

В процессе формирования покрытия движущиеся частицы, нагретые до высокой температуры, постепенно наслаиваются на поверхность основы или другие, уже остывшие частицы. В процессе напыления не происходит значительного повышения температуры основы, поэтому охлаждающиеся после удара частицы, сжимаются больше, чем металлические основы [1]. В результате этого при нормальной температуре напыленном покрытии возникают остаточные напряжения сжатия или растяжения.

### 2. Исследование характера остаточных напряжений в покрытиях

При напылении покрытий на основу небольшой толщины остаточные напряжения, возникающие в покрытии, могут привести к ее деформации. В тех случаях, когда основа обладает большой жесткостью, а покрытие достаточно толстое, остаточные напряжения в нем могут привести к образованию трещин в напыленном металле (материале) или к отделению его от основы [2]. Считают, что остаточные напряжения оказывают также влияние на механические и химические характеристики покрытия. Однако характер этого влияния изучен недостаточно полно.

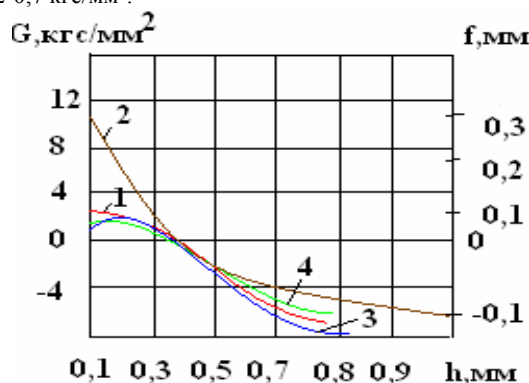
На фигурах 1,2,3 приведены результаты измерения средних остаточных напряжений в покрытиях различной толщины. Измерения проводили на образцах  $1,5 \times 10$  из низкоуглеродистой стали, на которые напыляли покрытия из молибдена, никелевого сплава и окиси алюминия. Для измерений использовали метод определения величины остаточных напряжений по кривизне прямоугольного образца.

В молибденовых покрытиях малой толщины возникали остаточные напряжения растяжения. С увеличением толщины покрытия остаточные напряжения уменьшались и при толщине покрытия 0,35-0,4 становились равными нулю. При дальнейшем увеличении толщины в покрытии возникали остаточные напряжения сжатия, которые постепенно увеличивались с увеличением толщины покрытия. В покрытиях малой толщины, нанесенных газопламенным методом проволоочным напылением, возникали очень большие растягивающие остаточные напряжения по сравнению с покрытиями, полученными плазменным напылением.

При напылении никелевого сплава на всех покрытиях возникали остаточные напряжения растяжения, которые постепенно возрастали с увеличением толщины покрытия. В покрытиях, полученных плазменным напылением, остаточные напряжения имели большие значения по сравнению с покрытиями наносимыми газопламенным напылением. Например, при тол-

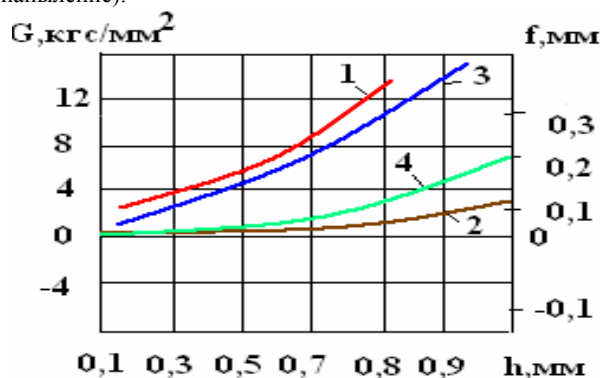
щине покрытия 0,5 мм величина остаточных напряжений составляла  $7,0 \text{ кгс/мм}^2$ .

При плазменном напылении окиси алюминия в покрытии появлялись остаточные напряжения сжатия, которые имели почти постоянные значения и не зависели от толщины покрытия. Эти напряжения составляли  $1,0-1,5 \text{ кгс/мм}^2$ . в покрытиях из окиси алюминия, нанесенных порошковым газопламенным напылением, возникали остаточные напряжения сжатия, равные  $0,2-0,7 \text{ кгс/мм}^2$ .



Фиг. 1. Зависимость величины остаточных напряжений и прогиба образца от толщины  $h$  молибденового покрытия напыленного на неуглеродистую сталь.

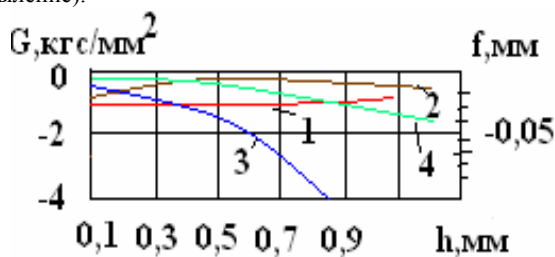
1 -остаточное напряжение (плазменное напыление); 2 - остаточное напряжение (газопламенное напыление  $O_2+C_2H_2$ ); 3 - прогиб (плазменное напыление); 4 - прогиб (газопламенное напыление).



Фиг. 2. Зависимость величины остаточных напряжений и прогиба образца от толщины  $h$  покрытия из никелевого сплава напыленного на неуглеродистую сталь.

1 -остаточное напряжение (плазменное напыление); 2 - остаточное напряжение (газопламенное напыление  $O_2+C_2H_2$ ); 3 -

прогиб (плазменное напыление); 4 - прогиб (газопламенное напыление).



Фиг. 3. Зависимость величины остаточных напряжений и прогиба образца от толщины  $h$  покрытия из окиси алюминия напавленного на неуглеродистую сталь.

1 - остаточное напряжение (плазменное напыление);  
2 - остаточное напряжение (газопламенное напыление  $O_2+C_2H_2$ ); 3 - прогиб (плазменное напыление); 4 - прогиб (газопламенное напыление).

Для различных сочетаний материалов основы и покрытий, нанесенных плазменным напылением, проведено сопоставление характера остаточных напряжений, возникающих в напыленном покрытии. Когда коэффициент термического расширения напыленного материала равен или больше коэффициента термического расширения материала основы, в напыленном покрытии возникают остаточные напряжения растяжения [2]. В других случаях в покрытии возникали остаточные напряжения сжатия. Случаи напыления молибдена на неуглеродистую сталь и алюминий, когда в покрытиях возникают остаточные напряжения растяжения, можно считать исключениями.

В настоящее время полностью не выявлены причины возникновения остаточных напряжений в покрытиях. Однако, полученной в этих экспериментах закономерностью можно пользоваться на практике (см. Таблицу 1).

Таблица 1– Характер остаточных напряжений в покрытии для различных сочетаний материала основы и покрытий, нанесенных плазменным напылением.

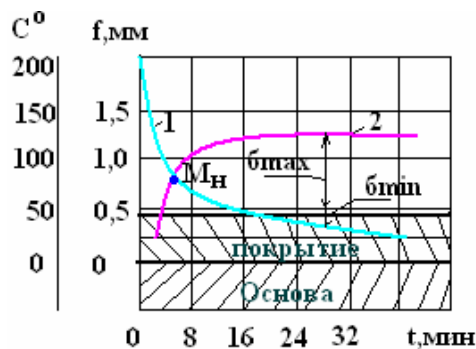
Материал покрытия	Материал основы			
	молибден	Неуглеродистая сталь	Бронза	Алюминий
Молибден	Растяжение	Растяжение, переходящее в сжатие	Сжатие	Растяжение, переходящее в сжатие
Двуокись циркония	-	Сжатие	-	-
Окись алюминия	Растяжение	Сжатие	-	Сжатие
Железо	-	Растяжение	-	-
Никель	Растяжение	Растяжение	-	Сжатие
Никелевый сплав	-	Растяжение	-	-
Алюминий	-	Растяжение	-	растяжение

После газопламенного напыления порошка из углеродистой стали, содержащей 0,8% С, на основу из низкоуглеродистой стали при охлаждении покрытия в образце происходят процессы сжатия-растяжения, приводящие в конечном счете к образованию в покрытии остаточных напряжений сжатия. Для более детального изучения возникающих при этом явлений были проведены экспериментальные исследования на образцах из низкоуглеродистой стали ( $200 \times 30 \times 3,2$  мм).

На шлифованную поверхность образца напыляли подслоу молибдена толщиной 0,1 мм. Затем на этот подслоу газопламенным напылением наносили покрытие из углеродистой ста-

ли (0,8%С) толщиной 0,54мм и определяли деформацию образца. В течении 2-3 мин. после напыления в результате усадки напыленного материала покрытие образец изогнулся таким образом, что слой покрытия оказался на вогнутой стороне. После охлаждения покрытия в течении 20-30 мин. непрерывно происходило расширение его, что в конечном итоге привело к тому, что сторона образца, где находилось покрытие, оказалась выпуклой. Этот процесс показан на фигуре 4.

В результате быстрого охлаждения напыляемых частиц из углеродистой стали (0,8%С) в покрытии образуется переохлажденный аустенит. При охлаждении образца после напыления происходит сжатие покрытия, приводящее к прогибу образца. При дальнейшем понижении температуры до  $240^{\circ}C$  (точка  $M_n$ ) (Фиг. 4.) начинается превращение аустенита в мартенсит, сопровождающееся увеличением объема напыленного материала. При этом происходит изменение направления прогиба образца, и напыленный слой оказывается на его выпуклой стороне.



1 - температура образца, 2 - прогиб образца.

Фиг. 4. Изменение величины прогиба образца после напыления.

### 3. Заключение

Результаты исследования, предоставили возможность сопоставить характер остаточных напряжений, возникающих в напыленном покрытии при различных сочетаниях материалов основы и покрытий.

Установлено как влияют коэффициенты термического расширения материала основы и покрытия на вид остаточных напряжений (сжатие, растяжение).

На основании проведенных опытов, мы установили зависимость прогиба детали  $f$  и химическое изменение покрытия, от температурного режима  $t^{\circ}$  и времени  $t$  пребывания в нем.

Данные результаты помогли нам в выборе композиционных материалов напыления, применение которых ведет к уменьшению количества брака в виде: большой пористости и изменении геометрических размеров (прогиб) восстанавливаемой детали.

### Литература

1. Соловьев Б.Г. Некоторые особенности технологического процесса получения покрытий плазменным напылением [Текст]. – М.: Транспорт. – 1990. – 215 с.
2. Томашец А.К., Савинкин В.В., Киселев Л.А. Опыт нанесения покрытий на изношенные поверхности деталей строительных машин с ведением процесса оплавления [Текст]: Современная архитектура и строительство: проблемы и перспективы развития / Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 10-летию Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева. Астана. – 2006. – 261 с.