

талька сводится к армирующе-упрочняющему действию кристаллизующейся фазы эвтектического состава основе гранита.

Полученные результаты показывают перспективность проведения дальнейших исследований и послужат основой для разработки технологии получения пористого композиционного материала на основе гранита.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Азаров, С.М. Оценка эффективности работы фильтрующих композиций при очистке воды оборотных систем / С.М. Азаров [и др.] // Порошковая металлургия. – Минск, 2009. – Вып. 32. – С. 114–120.

2. Ратько, А.И. Пористые керамические материалы для очистки воды из минерального сырья Беларуси / А.И. Ратько [и др.] // Порошковая металлургия. – Минск, 2007. – Вып. 30, С. 198–202

3. Азаров, С.М. Пористые керамические материалы для очистки воздуха / С.М. Азаров [и др.] // Восьмая межд. науч.-техн. конф. «Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка». 27-28 мая 2008 г., г. Минск, материалы докладов. – Минск. – С. 125–126.

УДК 621.793

Ивашенко С.А., Фролов И.С.

### **ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОКРЫТИЯХ ИЗ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ СПЛАВОВ**

*БНТУ, г. Минск,*

Анализ технологического процесса получения покрытий из самофлюсующихся сплавов показывает, что формирование напряжений в покрытии происходит на всех его этапах. На первом этапе (подготовка поверхности под напыление покрытия, чаще всего дробеструйная обработка) напряжения в поверхностных слоях металла возникают вследствие наклепа. На втором этапе (плазменное или газопламенное напыление) напряжения формируются под влиянием температурного фактора: из-за градиента температуры

по сечению детали и различия коэффициентов термического расширения (КТР) материалов покрытия и основы. На третьем этапе (оплавление покрытия) напряжения формируются в основном под влиянием температурного фактора и усадки покрытия. Температурный фактор сказывается при нагреве и охлаждении деталей при оплавлении из-за разных КТР покрытия и основы и градиента температуры по сечению. Кроме того, нагрев и медленное охлаждение детали при оплавлении приведут к перераспределению напряжений, унаследованных от предыдущих операций технологического процесса получения покрытий, то есть произойдет искусственное старение детали с покрытием. Усадка покрытия при оплавлении, происходящая в результате увеличения плотности оплавленного покрытия по сравнению с напыленным, оказывает существенное влияние на величину и знак напряжений. Таким образом, при определении величины остаточных напряжений в покрытиях из самофлюсующихся сплавов необходимо учитывать влияние всех выше перечисленных факторов.

На величину и характер напряжений в покрытии большое влияние оказывают, кроме того, фазовые и структурные превращения, происходящие в материале покрытия и основы.

Итак, предварительная обработка материала основы под напыление, температурные воздействия и усадка, геометрические размеры основы и покрытия и их физико-механические характеристики влияют на величину деформации деталей при получении покрытий из самофлюсующихся сплавов и на формирование внутренних напряжений.

После выяснения основных факторов, влияющих на процесс формирования напряжений в деталях при получении покрытий из самофлюсующихся сплавов, попытаемся представить модель их формирования. Рассмотрим конкретный случай нанесения покрытия из самофлюсующегося сплава на основу на хромоникелевой аустенитной стали в течение непрерывного цикла получения покрытия на детали.

На первом этапе (дробеструйная обработка) в поверхностных слоях детали возникают напряжения сжатия. При напылении покрытия в начальный момент времени, когда поверхность нагревается, в поверхностных слоях детали появляются напряжения сжатия, однако их величина незначительна, так как температура по-

верхности детали при напылении покрытия не превышает  $300^{\circ}\text{C}$ . При остывании детали с покрытием в нем также появляются напряжения сжатия (КТР покрытия меньше КТР основы –  $14,5 \times 10^{-6}$  град $^{-1}$  и  $17 \times 10^{-6}$  град $^{-1}$  соответственно). В том случае, если в качестве основы под нанесение покрытия используется конструкционная сталь, КТР которой меньше КТР покрытия, при остывании детали в покрытии появляются остаточные напряжения растяжения.

На операцию оплавления покрытия поступает деталь с уже имеющимися остаточными напряжениями и, в некоторых случаях, с деформациями, унаследованными от предыдущих операций технологического процесса. При оплавлении деталь нагревается до температуры  $1050^{\circ}\text{C}$  (для сплава ПГ-СР4), а затем медленно охлаждается. Во время нагрева до температуры  $650^{\circ}$  в покрытии возникают напряжения сжатия вследствие разных КТР покрытия и основы, что может привести к дополнительной пластической деформации поверхности детали. При дальнейшем увеличении температуры процесс образования напряжений в покрытии прекращается и, начиная с температуры порядка  $980^{\circ}\text{C}$ , происходит расплавление покрытия в результате контактного эвтектического плавления боридов и салицидов на границе никеля с твердым раствором. При этом частично уменьшаются остаточные напряжения сжатия, вызванные наклепом основы при дробеструйной обработке. При остывании покрытия (начиная с температуры  $650^{\circ}\text{C}$ ) в нем образуются напряжения сжатия, вызванные разными КТР основы и покрытия. К образованию остаточных напряжений растяжения приводят усадка покрытия и  $\alpha$ - $\gamma$ -превращение в аустенитной основе (при наличии в ней остаточного мартенсита).

Если в качестве основы используется низколегированная сталь, то процесс образования остаточных напряжений в покрытии при оплавлении отличается лишь тем, что в нем образуются напряжения растяжения вследствие разных КТР основы и покрытия.

Модель формирования остаточных напряжений в покрытии из самофлюсующихся сплавов для материалов с разными КТР схематично представлена на рис.1.

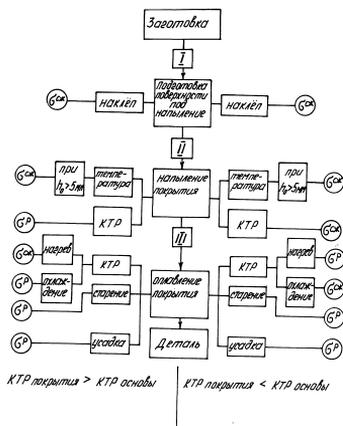


Рис. 1. Схема формирования остаточных напряжений в процессе получения покрытий из самофлюсующихся сплавов ( $h_0$  – толщина основы)

Схема показывает качественные изменения напряжений, происходящие в покрытии, на всех операциях процесса получения покрытия. Величину и знак остаточных напряжений можно определить на основании экспериментальных исследований.

УДК 666.792.22

Купреев М.П., Леонович Е.Н.  
**ШЛИФОВАЛЬНЫЕ ГОЛОВКИ И КРУГИ ПОВЫШЕННОЙ  
 СТОЙКОСТИ ИЗ ОТХОДОВ АБРАЗИВНОГО  
 ИНСТРУМЕНТА**

УО «Гомельский государственный университет имени Франциска  
 Скорины», г. Гомель

*Features of manufacturing techniques of grinding heads and grinding circles from secondary abrasive grain based on ceramic binding agent are considered. Structures ceramic binding agent and the regimes modes of the manufacturing providing high stability of the tool were developed. Trial manufacture of grinding heads and circles has been organized.*

Завершающим этапом изготовления большинства ответственных деталей являются операции абразивной обработки. Это определяет широкое применение в промышленности абразивного инструмента различного назначения.