

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА  
ГАЗОПЛАМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ**

**М.А. БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ, И.И. ТАРАН**

**Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,  
г. Минск, Республика Беларусь**

**А.О. ГРИЩЕНКО**

**Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь**

*Приведены результаты исследований процесса изготовления абразивного инструмента путем газопламенного напыления на стальную основу порошковой шихты, включающей частицы термопластичного полимера и абразива. Разработаны технологические приемы нанесения абразивосодержащих покрытий, учитывающие скорость охлаждения наносимых слоев и соотношение рабочих газов. Предложено вводить в наносимый состав покрытия порошок алмазосодержащей шихты ША-А и порошок аэросила.*

Абразивные инструменты с полимерным покрытием, содержащим частицы абразива, используются для обработки широкого спектра материалов, включая сельскохозяйственные продукты (корнеплоды, зерна злаков), дерево и древесноподобные материалы, пластик, стекловолокно, мягкие металлы, эмалированные и окрашенные поверхности.

Композиты инструментального назначения на полимерной основе составляют половину от общего количества производимых абразивных изделий. Отличительной положительной особенностью технологии получения инструмента для абразивной очистки на полимерной основе является возможность его производства при значительно (в 1,5 – 3 раза, а в некоторых случаях на порядок) более низких температурах, чем металлической и керамической основах. Помимо того, абразивный инструмент на полимерной основе за счет присущих высокомолекулярным соединениям, по сравнению с металлическими и керамическими связками, эластичности и упругости, обладает более выраженной способностью к самозатачиванию.

Одним из наиболее эффективных путей решения проблемы создания недорогого инструмента для абразивной очистки и шлифования, обладающим высокими абразивными свойствами и возможностью многократного восстановления рабочей поверхности, является использование технологии газопламенного напыления композиций на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), содержащего абразивные частицы.

В экспериментах использовался аппарат ГН модели ОИМ 050 конструкции Объединенного института машиностроения НАН Беларуси, при рабочем давлении пропана 0,16–0,18 МПа, воздуха 0,35–0,40 МПа.

Для составления смеси использовали порошки электрокорунда белого марки 25А зернистостью (по FEPA) F320, карбида кремния черного марки 54С с размером частиц 0,6–0,8 и 1,0–1,2 мм, а также порошок сверхвысокомолекулярного полиэтилена марки GUR 4120 UHMWPE фирмы Celanese (Германия) с молекулярной массой  $4,4 \cdot 10^6$  г/моль, рассеянный на фракции, мкм: 50–63; 63–100; 100–120; 120–160; 160–200; 200–315; 315–400; 400–500 на приборе ситового анализа модели 029. Объемное содержание абразива в смеси изменялось от 10 до 50 %.

Перед нанесением покрытия одну поверхность – пластину из стали Ст.3 размером 50 × 20 × 5 мм – подвергали дробеструйной обработке колотой чугунной дробью ДЧК 1,4 с режимами: давление сжатого воздуха – 0,6 МПа; расход сжатого воздуха – 0,7 м<sup>3</sup>/мин; угол атаки – 70–90°; расстояние до обрабатываемой поверхности – 60–80 мм; время обработки – не менее 40 с.

Прочность сцепления полимерных покрытий СВМПЭ измеряли методом нормального отрыва с помощью адгезиметра Elcometer 506 (Великобритания). Прочность при ударе покрытий определялась по ГОСТ 4765-73 на приборе «Константа У-2М». Исследования степени кристалличности (СК) осуществляли методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на установке TGA/ DSC 1HT/1600 319 DTA Mettler Toledo (Швейцария) в диапазоне температур 30–500 °С со скоростью нагрева 5 °С/мин. Степень кристалличности  $q$  определяли на ДСК-спектрах по удельной теплоте плавления кристаллической фазы полимера.

Данные ДСК-анализа показали, что в процессе напыления частицы не достигают температурного интервала термоокислительной деструкции и основная структура СВМПЭ сохраняется.

На первом этапе исследований оценивали влияние скорости охлаждения напыленных покрытий на их прочность сцепления с основой. Для охлаждения покрытий использовали струю воздуха, истекающую из сопла диаметром 7 мм с производительностью 1,5 – 16 м<sup>3</sup>/ч. Анализ полученных результатов показывает, что максимальные значения прочности сцепления имеют покрытия, охлаждаемые со скоростью <5 град/сек.

Далее определили оптимальное соотношение рабочих газов в сжигаемой смеси. Охлаждение покрытий осуществляли со скоростью менее 5 град/сек. Установлено, что максимальные значения прочности сцепления (7,9 – 8,6 МПа) имеют покрытия, напыленными смесью при соотношении горючего газа и окислителя равном 1 : (26 – 27), причем эта закономерность сохраняется и для покрытий, содержащих абразивные частицы.

Отмечено, что присутствие карбида кремния SiC до 60 об.% в качестве наполнителя в полимерной основе СВМПЭ приводит к значительному повышению производительности шлифования, а также прочности при ударе. Однако дальнейшее увеличение количества абразивного наполнителя снижает прочность при ударе покрытий, что обусловлено охрупчиванием. Кроме того, полимерное покрытие с концентрацией карбида кремния SiC свыше 40 об.% не имеет высокую прочность сцепления с поверхностью стального образца.

Установлено, что наиболее высокие значения адгезии и износостойкости покрытий обеспечиваются при использовании наиболее мелких фракций абразива. Это можно объяснить тем, что при перемешивании компонентов порошкового состава в лабораторной мельнице происходило конгломерирование частиц полимера СВМПЭ и частиц абразива вследствие трибостатического взаимодействия. Благодаря малым размерам, частицы абразива плакируют более крупные частицы полимера.

В качестве структурного модификатора полимер-абразивного покрытия было предложено использовать порошок алмазосодержащей шихты ША-А (ТУ РБ 100056180.003–2003) со средним диаметром частиц 10 нм. В качестве наполнителя использовали порошок аэросила А-300, служащий для улучшения тиксотропии, реологических свойств (сыпучести) порошковых смесей, образующих покрытие. Кроме того, повышает устойчивость смесей к перепадам температур, придает эффект сгущения, позволяет увеличить прочность и термоустойчивость. Аэросил – это высокодисперсный, высокоактивный, аморфный, пирогенный диоксид кремния ( $\text{SiO}_2$ ), получаемый пламенным гидролизом четыреххлористого кремния ( $\text{SiCl}_4$ ) высокой чистоты.

Установлено, что наибольшую текучесть, а соответственно, производительность напыления имеют составы, содержащие 0,5 – 1,0 об.% аэросила А-300. Увеличение аэросила более заявленных пределов снижает адгезию покрытий.

Таким образом, наибольшую производительность напыления, прочность сцепления напыленного покрытия со стальной поверхностью, прочность при ударе, абразивную способность, проявляют составы, содержащие порошок электрокорунда – 30 – 60 об.%; порошок алмазосодержащей шихты ША-А – 0,1-0,5 об.%; порошок аэросила 300 – 0,5 – 1,0 об.%; СВМПЭ – остальное, до 100 об.%.

Предлагаемые порошковые составы и получаемые из них покрытия перспективны при изготовлении инструмента для абразивной обработки широкого спектра материалов, включая сельскохозяйственные продукты (корнеплоды, зерна злаков), дерево и древесноподобные материалы, пластик, стекловолокно, мягкие металлы, эмалированные и окрашенные поверхности.