Багайсков Ю.С.

*Волгоградский государственный технический университет
Волгоград, Россия*

doi: 10.18411/ij-28-02-2017-1-05

idsp 000001:ij-28-02-2017-1-05

Анализ особенностей структуры высокопористых абразивных инструментов на керамической связке

Операции абразивной обработки предназначены для обеспечения высокой точности и качества поверхностей деталей, в основном термообработанных. Эффективность применения абразивных инструментов зависит от вида материала детали, режимов и условий обработки, а также характеристики инструмента. К основным параметрам характеристики абразивных инструментов относятся: вид и зернистость абразивного материала, степень твердости и номер структуры, вид связки, рабочая скорость, классы точности и неуравновешенности [1].

Зернистость абразивного материала определяет в большей степени величину шероховатости обрабатываемой поверхности. Чем меньше зернистость, тем ниже шероховатость, при этом ниже и производительность обработки. Чтобы обеспечить увеличение частоты вершин абразивных зерен на рабочей поверхности инструмента без потери производительности, необходимо вводить мелкозернистые фракции абразивных материалов дополнительно к основным.

За основу взята модель упаковки абразивных зерен в виде комплекта шаров [2]. Тогда максимальная плотность упаковки шаров одного диаметра может быть достигнута в соответствии со схемой, приведенной на рис. 1, с учетом объемного представления. Формируется блок четырех зерен, каждый из которых контактирует с тремя остальными. Из таких блоков, связанных между собой, состоит структура материала, в целом каждое зерно контактирует с 14-ю другими, находящиеся на поверхности – с 10-ю.

Теоретические расчеты показывают, что доля свободного объема при плотной упаковке моделей(шаров) составляет 21,3%. С учетом коэффициента развитости поверхности абразивного зерна, при пересчете с удельных весов всех компонентов абразивной массы на их насыпные веса, доля объема, приходящаяся на поры (и связку) при свободной насыпке массы при формовании составляет 55%. Фактический объем пор больше теоретического в $0,55/0,213$ раз, т.е. в 2,582 раза. Тогда в пересчете на линейный размер - диаметр зерна наполнителя по сравнению с диаметром зерна абразива: $d_{н\text{ факт}} = 1,73 \cdot d_{н} = 1,73 \cdot 0,213d_1 = 0,385d_1$.

В формуле коэффициент 1,73 получен из сравнения условных диаметров пор, фактического и теоретического.

Рис. 1. Схема максимальной упаковки шаров (зерен)

Структура композиционного материала абразивных инструментов представляет собой совокупность абразивных зерен, связки и пор и определяется номером структуры. Степень пористости не зависит от номера структуры при одной и той же твердости, а при одном номере структуры – снижается с увеличением степени твердости. Таким образом, повышение пористости происходит при снижении степени твердости, как правило, в диапазоне, так называемых, открытых структур(№ 9 и выше. Одним из главных условий равномерности структуры можно принять соответствие количества зерен абразива и числа пор: $n_1 = n_{пор}$, где n_1 и $n_{пор}$ – количество зерен абразива и число пор.

На рис.2 приведен график зависимости соотношения К1 диаметров естественных пор и абразивных зерен, при их упрощенном моделировании в виде шаров, от степени твердости при различных номерах структур. При этом $K1 = d2 / d1$, где $d2$ и $d1$ – диаметры поры и абразивного зерна.

Рис.2. Зависимость соотношения диаметров естественных пор и абразивных зерен ($K1 = d2 / d1$) от степени твердости при номерах структуры №6 (1), №9 (2) и №12 (3) без введения порообразователей

Расширить нижний предел по содержанию абразива и, соответственно, по

увеличению пористости, кроме естественных пор, можно за счет искусственного введения порообразователей. При этом в зависимости от зернистости и количественного содержания порообразователя закладывается структура определенной, как правило, высокой пористости [3,4].

Но применение порообразователя, с другой стороны, приводит к ряду технологических проблем, главная из них – неравномерность распределения частиц порообразователя в смеси, что в конечном итоге приводит к существенному расхождению значений твердости как от центра к периферии по радиусу, так и по высоте инструмента. Кроме того, это отражается и на степени неуравновешенности инструментов. Причина – различие в удельном и насыпном весе порообразователя по сравнению с другими компонентами смеси, особенно с абразивом. Так, насыпной вес абразивных материалов – 1,4 – 1,8 г/см³, связки – 0,8 – 0,9 г/см³, а косточкового порообразователя примерно 0,6 г/см³.

В связи с тем, что порообразователь вводится дополнительно к расчетной рецептуре, при заданных номере структуры и степени твердости, фактически за счет увеличения степени пористости изменяется содержание абразивного зерна по отношению к остальным компонентам, а значит и номер структуры.

Рецептура абразивной массы рассчитывается по отношению к 100 весовым частям (в.ч.) абразивного материала. Объемное содержание абразивного материала, отнесенные к 100 % (A₁₀₀), можно определить по следующей формуле:

$$A_{100} = 100 A / (A + B + C + D), \quad (1)$$

где A, B, C и D – объемные содержания абразива, связки, клеящего увлажнителя и порообразователя, соответственно, определенные как отношения их массового содержания в в.ч. к насыпным весам.

На рис. 3 приведены результаты расчета величины A₁₀₀ для абразивного инструмента с исходным номером структуры № 10 для степени твердости ВМ-СТ при различном содержании порообразователя (до 30 в.ч.).

Рис. 3. Фактическое объемное содержание абразивного зерна A_{100} и номер структуры в зависимости от содержания порообразователя при степенях твердости ВМ (1), СМ (2), СТ (3)

Анализ показывает, что с увеличением содержания порообразователя объем абразива уменьшается, при этом фактический номер структуры возрастает в сторону открытости. Так при заданной структуре №10 и содержании порообразователя 30 в.ч. номер структуры возрастает до №16-18. Результат зависит и от степени твердости – для большей твердости изменение меньше, однако незначительно, в пределах 1 – 2 номеров структуры. Для инструмента из карбида кремния при равных условиях изменения по сравнению с электрокорундом меньше, примерно на 1 номер структуры.

Для обеспечения наиболее равномерной структуры высокопористого материала в имеющиеся свободные ячейки между зернами абразива и основного порообразователя можно вводить порообразователь другой зернистости с размером частиц менее размера зерен абразива или примерно равный по величине зернам. В первом случае необходимо использовать соотношение размеров частицы порообразователя - наполнителя и диаметра зерна абразива, равное 0,2 – 0,3, как для мелкозернистого наполнителя. Общее количество частиц такого полифракционного порообразователя может быть равно количеству зерен абразива, что способствует получению равномернопористой структуры.

Как известно, объем шара(как модели формы абразивного зерна и порообразователя) равен:

$$V = 3,14 d^3 / 6 \sim d^3 / 2. \quad (2)$$

Тогда суммарный объем абразивных зерен(V_1) и порообразователя (V_2), соответственно, составит :

$$V_1 = n_1 d_1^3 / 2 \quad (3)$$

$$V_2 = n_2 d_2^3 / 2 ,$$

где n_1 и n_2 - количество абразивных зерен и частиц порообразователей, d_1 и d_2 - размеры абразивных зерен и частиц порообразователей.

При условии равенства количества абразивных зерен и частиц порообразователей ($n_1=n_2$), отношение K объемов порообразователей и абразива составляет:

$$K = V_2 / V_1 = (d_2/d_1)^3 \quad (4)$$

Если принять неравенство количества абразивных зерен (n_1) и частиц порообразователей(n_2) при соотношении $m = n_2 / n_1$, то значение K будет:

$$K = m(d_2/d_1)^3 \quad (5)$$

На рис. 4 приведены зависимости соотношения K объемов порообразователей и абразива от соотношения размеров их частиц при разных значениях m - отношения количества частиц порообразователей и зерен абразива. Базовая зависимость будет при $m = 1$, то есть $n_1 = n_2$, в случае $d_2/d_1 = 1$, отношение объемов также будет равным единице.

Рис.4. Зависимости соотношения K объемов порообразователей и абразива от соотношения размеров их частиц d_2/d_1 при разных значениях $m = (n_2 / n_1)$ - отношения количества частиц порообразователей(n_2) и зерен абразива(n_1): $m = 1$ (1), $m = 0,5$ (2), $m = 1,5$ (3)

При уменьшении соотношения m снижается соотношение K , при увеличении – возрастает. Исходя из требований технологичности производства и обеспечения эффективности работы инструмента можно считать рациональным состав абразивной массы по соотношению размеров и содержания абразивных зерен и порообразователей: $d_2/d_1 = 0,7-0,9$ при $n_1=n_2$.

Таким образом, исследованы особенности структуры высокопористых абразивных инструментов на керамической связке, в том числе по соотношению размеров естественных пор и абразивных зерен, фактического получения высокого номера структуры при введении порообразователей, обеспечении равномерности структуры высокопористых инструментов при рациональном соотношении размеров абразивных зерен и порообразователей, сохранении равенства их количественного состава.

Литература

1. Гаршин, А.П. Абразивные материалы и инструменты. Технология производства: Учеб.пособие / А.П. Гаршин, С.М. Федотова / Под общ. ред. проф. А.П. Гаршина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 1010 с.
2. Багайсков, Ю. С. Повышение эксплуатационных показателей изделий из абразивных композиционных материалов: Монография / Ю. С. Багайсков, В. М. Шумячер // ВолгГАСУ. – Волгоград, 2005. – 200 с.
3. А.с. 1812087. МКИ В24D 3/14. Масса для изготовления пористого абразивного инструмента / В.П. Манунин, Ю.С. Багайсков, А.В. Лежнева, Т.Н. Дуличенко. – Оpubл. 30.04.93. Бюл. №16.
4. Багайсков, Ю. С. Улучшение структурно-механических и эксплуатационных свойств абразивных инструментов с порообразователем / Ю. С. Багайсков, В. М.Шумячер // Технология машиностроения. – 2007. – № 3. – С. 34 – 38.