УДК 621.922

А.Н. УШАКОВ, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ НАПРЯЖЕННОГО–ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ «АБРАЗИВНОЕ ЗЕРНО-СВЯЗКА»

В статье выполнен анализ существующих форм абразивных зерен. Разработана трехмерная модель напряженного-деформированного состояния в которой связка представлена в виде мостиков связи цилиндрической формы, а само зерно представлено в виде комбинированной формы. Эта модель позволяет выполнить комплексное исследование с применением средств вычислительной техники для усовершенствования технологических процессов изготовления и эксплуатации шлифовальных кругов.

Ключевые слова: врезное шлифование, шлифовальный круг, зерно, связка, модель.

Введение. Процесс шлифования характеризуется высокими требования к точности размеров, формы и качеству поверхностного слоя обрабатываемых деталей. Большие скорости вращения шлифовальных кругов порождают значительные периодические силы, оказывающие существенное влияние на микро- и макрогеометрию изделия. Процесс шлифования является нестабильным и до настоящего времени недостаточно изученным.

В настоящее время для комплексного исследования процесса шлифования все более активно используют широкий спектр программного обеспечения, работающего с трехмерными моделями.

Обзор проблемы. Известно, что статические модели режущей поверхности абразивного круга формируются на основе определенной формы зерен и закона их распределения, закона распределения центров зерен в абразивном пространстве, пространства абразивного слоя и расположения в абразивном пространстве поверхности связки. Каждое зерно в зависимости от технологии его получения имеет индивидуальную форму поверхности и вследствие хаотического расположения в связке обладает индивидуальными режущими свойствами, совокупность которых определяет качество инструмента, которое в свою очередь при соответствующих режимах шлифования должно обеспечить заданный уровень микро- и макрогеометрии детали.

Достаточно сложным является получение реалистической модели рабочей поверхности абразивного круга. Это связано со стохастическим характером процесса шлифования, так как текущие параметры формы зерен и их расположения, как и всего шлифовального круга, в целом являются случайными.

Существует четыре основных элемента, на базе которых строятся статические модели рабочей поверхности абразивного инструмента: форма и закон распределения размеров зерен, закон распределения центров

© А.Н. Ушаков, 2014

зерен в абразивном пространстве, пространство абразивного слоя и поверхность связки, определенным образом расположенная в абразивном пространстве.

Единичное абразивное зерно характеризуется размерами и формой, причем форма зерна не регламентируется. Традиционная методология создания модели абразивного инструмента заключается в последовательном решении нескольких фундаментальных задач, главной из которых является геометрическая форма абразивных зерен.

Теоретические расчеты и моделирование сложной геометрической формы конкретных абразивных зерен, как правило, выполнены в 2D изображении и представляются в виде ортогональной схемы резания абразивным зерном с площадкой затупления, пирамиды, конуса, призмы, эллипсоида, шара и т.п.

Моделирование механизма взаимодействия абразивного зерна с обрабатываемой поверхностью детали изложено в работах: А.Н. Резникова, С.Н. Корчака, Е.Н. Маслова, А.К. Байкалова, В.И. Островского и др.

Цель работы. Целью работы является обоснование и разработка трехмерной модели силового напряженного состояния зерно-связка с учетом основных характеристик абразивных шлифовальных кругов.

Разработка модели. В теоретических работах по шлифованию достаточно часто используется понятие критической глубины заделки абразивного зерна в круге. Под ним понимается следующее – это такая глубина заделки зерна в связке $d_{кр}$, при которой сила резания, вырывающая зерно из связки, равна силе разрушающей зерно. Если зерно заделано в связку на глубину большую чем $d_{кр}$, то сила резания не вырвет зерно из связки, т.к. для вырывания его из связки требуется значительно большее усилие, чем для разрушения зерна.

Критическая глубина заделки характеризует обобщенно совокупность физико-механических свойств абразивного материала и связки, способность круга к самозатачиванию. Низкая прочность связки обеспечивает хорошее самозатачивание круга, т.е. выравнивание затупившихся зерен из связки силами резания. При этом режущая способность круга поддерживается естественно процессом самозатачивания.

Однако, при этом износ круга, потеря им правильной геометрической формы происходит достаточно интенсивно, что в конечном итоге снижает точность обработки. Поэтому технологические процессы изготовления и эксплуатации кругов должны обеспечить работу в режиме самозатачивания, что обусловлено оптимальным сочетанием прочности связки с абразивным материалом и соответствующими режимами шлифования.

Поскольку $d_{кр}$ – это глубина заделки, при которой сила разрушающая зерно и вырывающая его из связки равны, то задача

определения $d_{кр}$ распадается на две задачи: определение предельного значения силы резания из условия прочности зерна; определение нагрузки на зерно, вырывающей его из связки.

Для решения первой задачи надо решить задачу прочности зерна при нагружении его силой резания, а для решения второй задачи надо решить задачу определения прочности связки на границе «абразивное зерно-связка». Решение этих задач возможно выполнить с применением современных средств вычислительной техники. Для этого вначале необходимо разработать 3D модель «абразивное зерно-связка».

Решение поставленных задач будем делать применительно к кругам, используемых для процесса круглого наружного врезного шлифования для различных сочетаний абразивного и связующего материалов.

Среди всех режущих инструментов абразивные являются единственными, у которых ГОСТ регламентирует не важнейший параметр рабочей поверхности - число режущих зерен, а характеристики внутреннего объемного строения - зернистость, твердость и структуру. Эти параметры зависят от объемного содержания зерна, связки и пор.

Некоторые исследователи в объемной геометрической модели располагают зерно в сплошном пространстве связки, не учитывая объем пор. Естественно этот подход снижает достоверность результатов расчетов.

Задача расположения абразивных зерен как геометрических объектов в объеме шлифовального круга представляет собой разновидность общей статистической задачи размещения объектом фиксированных или случайных размеров в заданном объеме пространства.

Модель объемного строения абразивного инструмента достаточно подробно описана в работе [1].

Выполним анализ и расчет данной модели.

Выполним анализ характеристик внутреннего объемного строения абразивных кругов представленных в таблице 3.1 [1].

В результате анализа установлено, что для абразивных кругов с номером структуры 4-12 и твердости от М1 до Т2 максимальное количество мостиков связи, приходящееся на одно зерно варьируется от 8 до 12. В качестве примера покажем влияние твердости круга на максимальное количество мостиков связки, приходящееся на одно зерно для абразивных кругов структуры №10 (см. рис.1).

В качестве примера приведем расчет в Mathcad для шлифовального круга 10 структуры, твердости Т2, зернистости 25.

Для восьми мостиков связки объемная геометрическая модель может быть расположена в октаэдре, причем зерно в виде сферы (или в виде комбинированной фигуры, приближенной к форме зерна) совпадает с центром описанной сферы и соединены с вершинами октаэдра.

$$\beta з := 0.42$$

$$\beta c := \begin{pmatrix} 0.295 \\ 0.280 \\ 0.265 \\ 0.250 \\ 0.235 \\ 0.220 \\ 0.205 \\ 0.190 \\ 0.175 \\ 0.160 \\ 0.145 \\ 0.130 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} T2 \\ T1 \\ CT3 \\ CT2 \\ CT1 \\ C2 \\ C1 \\ CM2 \\ CM1 \\ M3 \\ M2 \\ M1 \end{pmatrix}$$

$$nм10(\beta c) := 19.5 \cdot (\beta з + \beta c) - 2.2$$

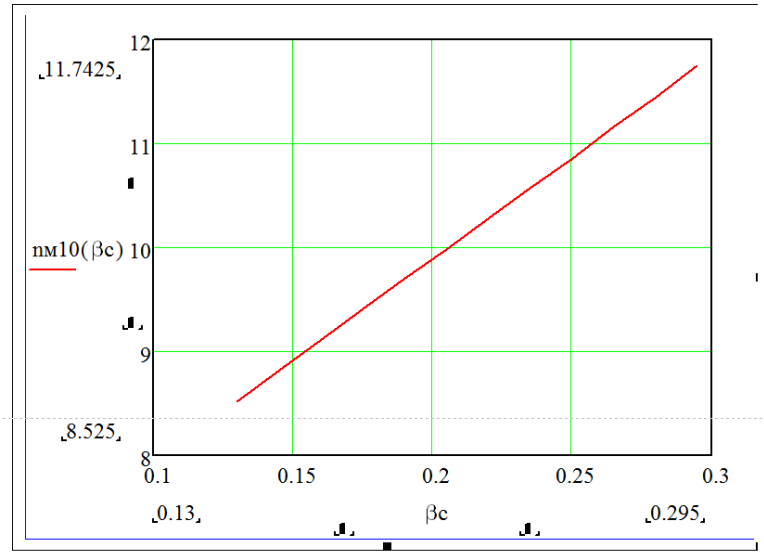

Рис. 1 – Влияние твердости круга на количество мостиков связки, приходящееся на одно зерно для абразивных кругов структуры №10

no - число зерен в единице объема, 1/ мм3

$\beta з := 0.42$ относительное содержание зерен

$\eta з := 0.523$ коэффициент объема зерна

$d := 0.255$ размер зерна, мм

$\beta с := 0.2$ относительное содержание связки

$$no := \frac{\beta з}{\eta з \cdot d^3}$$

$no = 48.431$ шт

lц -расстояние между центрами зерен, мм

$\eta зз := 0.785$

$$lц := \left(\frac{\eta з}{\eta зз}\right)\cdot\left(\frac{1}{\beta з}\right)\cdot d$$

$lц = 0.405$ мм

nм-максиматьное число мостиков на одно изерено, шт

$nм := 19.5\cdot(\beta з + \beta с) - 2.2$

$nм = 9.89$ шт

lс-длина мостика связки, мм

$$lс := d\cdot\left[\left[\left(\frac{\eta з}{\eta зз}\right)\cdot\left(\frac{1}{\beta з}\right)\right] - 1\right]$$

$lс = 0.15$ мм

dс-поперечный размер мостика связки, мм

$$dс := d\cdot\sqrt{\frac{\beta с}{\beta з\cdot nм}\cdot\frac{\eta з}{\eta зз}\cdot\frac{1}{\left(\frac{\eta з}{\eta зз}\right)\cdot\left(\frac{1}{\beta з}\right) - 1}}$$

$dс = 0.06$ мм

Аналогично строится геометрическая модель для двенадцати мостиков связки, модель может быть расположена в икосаэдре, изначально примем форму зерна в виде сферы (см. рис.2).

Для количества мостиков связки 9-11 не существует многогранников правильной формы, поэтому геометрическая модель строится с максимальным приближением равномерности распределения мостиков связки в пространстве.

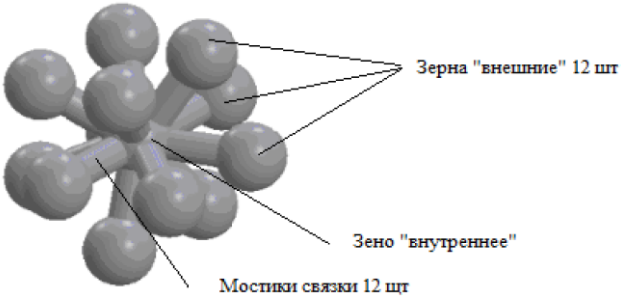

Рис. 2 – Трехмерная модель зерно-связка

Предположим, что в процессе правки алмазным инструментом или процесса самозатачивания круга трехмерная модель лишится верхних мостиков связи (см. рис.2). При этом центральное зерно окажется на режущей части периферии круга. Далее модель можно упростить – «внешние» зерна исключаются из модели т.к. основания цилиндров будут жестко защемленными.

Кроме этого предположим, что само зерно из сферы преобразуется в комбинированную форму, состоящую из полусферы, усеченного конуса и усеченной пирамиды с фигурами заполнения в виде бобышек которые можно построить в SolidWorks (см. рис.3). Представление комбинированной формы обусловлено и тем, что при дальнейшем моделировании необходимо будет прикладывать реальные нагрузки, что затруднительно применить к сфере.

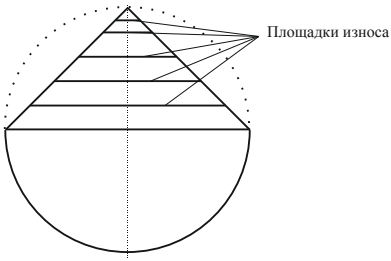

Рис. 3 – Форма зерна

В результате получена окончательная модель. В качестве примера представим трехмерную модель (см. рис.4) с изношенным зерном, построенную с использованием вышеизложенного расчета в Mathcad.

Рис. 4 – Трехмерная модель зерно-связка с изношенным зерном

Выводы. Трехмерная модель силового напряженного состояния в которой связка представлена в виде мостиков связи цилиндрической формы, а само зерно представлено в виде комбинированной формы позволит выполнить исследование напряженного состояния для конкретных условий процесса шлифования.

Список литературы: 1. *Островский В.И.* Теоретические основы процесса шлифования / *В.И. Островский*.-Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981.- 141 с.

Bibliography (transliterated): 1. *Ostrovskij V.I.* Teoreticheskie osnovy processa shlifovanija. - Leningrad: Izd-vo Leningr. un-ta, 1981.- 141 P.

Надійшла до редколегії 15.10.2014