

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА С УЧЕТОМ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ШЛИФОВАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ

Л.В. Шипулин

Приводится новый подход к моделированию инструмента, применяемого на операциях шлифования, заключающийся в имитационном вероятностном моделировании структуры шлифовального круга с учетом зернового состава шлифовального порошка по ГОСТ Р 52381–2005 «Материалы абразивные. Зернистость». Приводится метод визуализации полученной трехмерной модели поверхностного слоя инструмента. Для иллюстрации работы имитационной модели проводится компьютерная генерация по предложенному алгоритму нескольких шлифовальных кругов различной зернистостью.

Ключевые слова: абразивный инструмент, имитационное моделирование, зернистость шлифовального круга.

В современной научной технологии машиностроения одним из наиболее перспективных способов исследования технических систем и процессов является математическое моделирование, в том числе компьютерное имитационное моделирование. Существует целый ряд математических моделей, описывающих взаимодействие абразивного инструмента и заготовки при различных видах шлифования, позволяющих прогнозировать параметры шероховатости и на базе этого оптимизировать процесс. Такие модели строятся на основе модели инструмента – шлифовального круга, из чего следует тот факт, что степень приближения виртуальной компьютерной модели к реальному инструменту напрямую влияет на степень адекватности прогнозирования обработанной поверхности. Таким образом, задача моделирования инструмента с максимальным приближением к реальности является актуальной.

Моделированием инструмента в своих исследованиях занимались как отечественные, так и зарубежные ученые. Так, среди отечественных исследователей, занимавшихся моделированием инструмента, были Д.И. Волков, Н.С. Рыкунов и В.В. Митрюхин [1], С.В. Кныш и В.А. Склепус [2], А.М. Козлов и В.В. Ефремов [3], А.И. Мироседи и В.М. Шумячер [4], Н.В. Тюльпинова [5], А.В. Широков и А.П. Осипов [6] и многие другие. Также имеются и зарубежные исследования, принадлежащие W. König и W. Lorts [7], X. Zhou и F. Xi [8] и многим другим.

При моделировании инструмента следует учитывать его реальную структуру и физическую природу. Реальный шлифовальный круг получают по следующей технологии. В первую очередь в печах выпекают формованный абразивный материал требуемого химического состава, который затем дробят в дробилках. После дробления полученную сыпучую смесь просеивают через систему сит, на каждом из которых задерживается только определенная фракция абразивных зерен, размеры которых находятся в некотором интервале. Далее необходимая фракция зерен смешивается со связкой и перемешивается до получения однородной массы, затем формуется в необходимую форму и профиль шлифовального круга и отправляется в печь.

Анализируя реальную структуру шлифовального круга и порядок его изготовления, можно выделить следующие параметры, которые необходимо учитывать при разработке модели шлифовального круга:

- размеры шлифовального круга и его рабочего слоя;
- зернистость шлифовального круга, то есть размеры совокупности абразивных зерен, подчиняющиеся некоторому закону распределения;
- структура шлифовального круга, то есть процентное содержание абразивного материала в объеме всего инструмента;
- расположение абразивных зерен в объеме инструмента;
- форма абразивных зерен и ее геометрические параметры.

Размеры шлифовального круга и его рабочего слоя. В статье рассматривается шлифовальный круг прямого профиля (ПП), то есть круг представляет собой цилиндрический диск с центральным отверстием. Поскольку в работе участвует лишь тонкий поверхностный слой, то при моделировании инструмента принято строить не сам инструмент, а развертку его поверхностного слоя. Таким образом, развертка имеет размеры: ширину, равную высоте круга, указываемой в маркировке, и длину, равную длине наружной окружности инструмента, то есть πD . Высоту моделируемого поверхностного слоя выберем исходя из того факта, что зерно врезается в обрабатываемый материал лишь на 5–10 % от своего габаритного размера, то есть высота моделируемого поверхностного слоя, равная 10–15 % от размера зерна (с запасом), была бы достаточной. В то же время при такой незначительной глубине может возникнуть большая погрешность моделирования. В связи с этим принимается глубина моделируемого поверхност-

ного слоя, равная двум размерам абразивного зерна. Таким образом, размеры моделируемого поверхностного слоя есть $\pi D \times B \times 2d$.

Зернистость шлифовального круга. В соответствии с актуальным стандартом ГОСТ Р 52381–2005 «Материалы абразивные. Зернистость», который содержит данные, аналогичные общемировому стандарту FEPA 42–1:2006, обозначение зернистости в маркировке шлифовального круга расшифровывается следующим образом. К примеру, маркировка круга F40 подразумевает, что количество абразивных зерен с размерами 0,71–0,50 мм в круге составит не более 30 %, с размерами 0,50–0,425 мм – не менее 40 %, с размерами 0,5–0,355 мм – не менее 65 % и с размерами 0,355–0,3 мм – не более 3 %. Таким образом, размеры всей совокупности абразивных зерен известны. В то же время закон распределения и его параметры внутри каждой группы определенной фракции исследователями не рассматривался, хотя и представляет определенный интерес. В связи с этим предлагается случайным образом генерировать абразивное зерно со случайным размером по закону равномерного распределения.

Структура шлифовального круга. Количество абразивных зерен зависит от номера структуры круга, которая задает процентное количество абразивного материала, связки и пор. При моделировании инструмента определяется объем поверхностного слоя, а затем, исходя из заданной структуры круга, определяется объем абразивного материала, который должен находиться в поверхностном слое с заданными размерами. При генерации абразивных зерен, их размеров и координат положения рассчитывается объем каждого зерна и вычитается из объема всего абразивного материала: таким образом, когда весь объем, отведенный на абразивный материал, будет заполнен, генерирование прекратится.

Расположение абразивных зерен. Генерируемые абразивные зерна распределяются в объеме поверхностного слоя случайным образом по закону равномерного распределения. Такое положение принято исходя из реальной структуры инструмента.

Форма абразивного зерна. В реальности абразивное зерно имеет сложную пространственную геометрию, формируемую в результате дробления. Описание такой формы является крайне затруднительным, поэтому при описании формы абразивного зерна аппроксимируют ее некоторой идеализированной геометрической формой: шаром, эллипсоидом, параболоидом, конусом, пирамидой, усеченными фигурами и т. д. В нашей работе принимается параболоид вращения в качестве фигуры аппроксимации.

Приведенные выше подходы используются при разработке модели шлифовального круга. Расчетная схема структуры шлифовального круга в соответствии с вышеизложенными положениями показана на рис. 1.

Моделирование шлифовального круга осуществляется следующим образом. Поверхностный слой шлифовального круга, глубина которого составляет два средних размера абразивного зерна, представляется в виде раз-

вертки (см. рис. 1). При моделировании поверхностного слоя происходит последовательное генерирование абразивных зерен и назначение им вероятностных параметров.

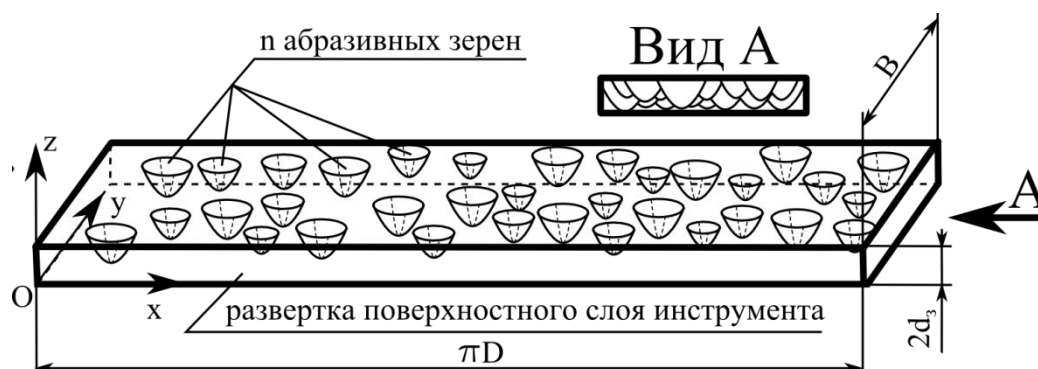


Рис. 1. Модель поверхностного слоя шлифовального круга

Рассмотрим генерацию единичного абразивного зерна. В первую очередь генерируемому зерну придается порядковый номер i в круге. Далее этому зерну случайным образом присваивается размер в пределах максимально и минимально допустимых размеров зерен (например, для зернистости F40 диапазон размеров составляет 0,71–0,3 мм). Далее определяется, в какую группу фракции попал размер зерна, а также объемная доля этой группы в объеме инструмента. В том случае, если объемная доля фракции превышает заданное стандартом значение, происходит повторное присвоение случайного размера в заданном диапазоне. В противном случае, если размер зерна удовлетворяет требования стандарта по фракционному составу, то размер зерна записывается в массив с индексом i . Далее по полученному размеру зерна рассчитывается его объем, который вычитается из общего объема, отведенного под абразивный материал. В заключительном этапе абразивному зерну задаются случайные размеры координат его положения по x , y и z , которые записываются в соответствующие массивы с индексом i . Таким образом происходит генерация n абразивных зерен до тех пор, пока объемная доля генерированных зерен не превысит объемную долю абразивного материала, заданного структурой шлифовального круга.

Также предлагается способ визуализации поверхности шлифовального круга. В соответствии со способом визуализации программно по разработанному и реализованному на языке программирования C# алгоритму осуществляется послойное построение сечений абразивных зерен с соответствующим им цвету по шкале глубин от наиболее удаленного слоя от поверхности к поверхности. Визуализация топографии поверхности инструмента различной зернистости, полученная в разработанной имитационной модели, представлена на рис. 2.

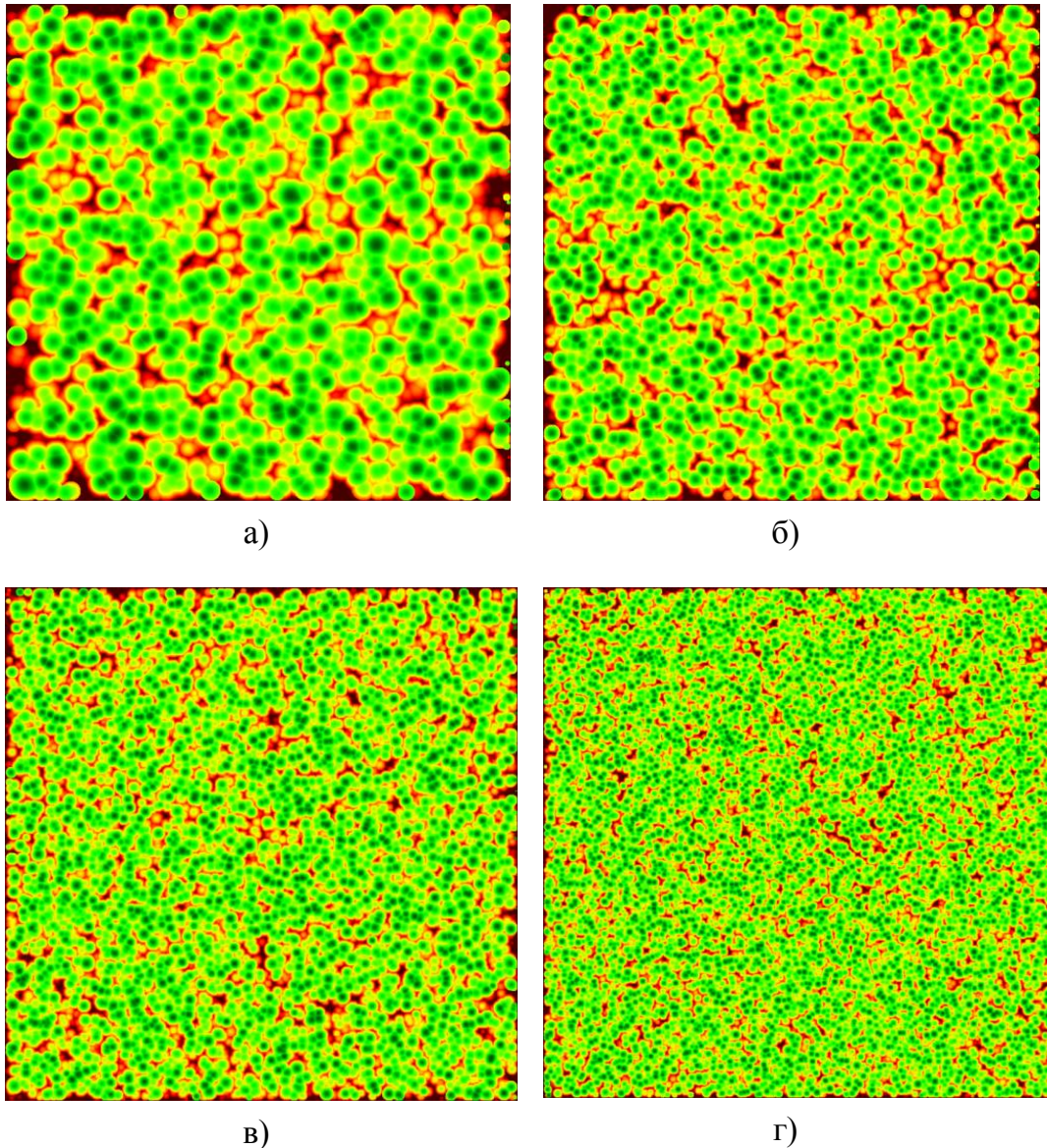


Рис. 2. Визуализация поверхностного слоя шлифовального круга
размером 10×10 мм различной зернистостью:
а – F16; б – F30; в – F54; г – F90

Заключение. Таким образом, разработана имитационная модель структуры абразивного инструмента с учетом зернового состава шлифовальных порошков, позволяющая получать виртуальную компьютерную модель, строение которой соответствует параметрам, указанным в ГОСТ Р 52381–2005 «Материалы абразивные. Зернистость», а также учитываются все основные характеристики шлифовального круга. Предполагается использовать данную модель при разработке имитационной геометрической модели взаимодействия шлифовального круга и заготовки для прогнозирования шероховатости при шлифовании.

Благодарность

Южно-Уральский государственный университет выражает благодарность Министерству образования и науки Российской Федерации за финансовую поддержку настоящей работы (грант № 9.5589.2017/8.9).

Библиографический список

1. Волков, Д.И. Характеристики рабочего слоя шлифовальных кругов из СТМ / Д.И. Волков, Н.С. Рыкунов, В.В. Митрюхин // Высокие технологии в машиностроении и приборостроении: сб. науч. тр.: РГАТА. – Рыбинск, 1995. – С. 100–104.
2. Кныш, С.В. Выбор формы зерна при моделировании формы шлифования / С.В. Кныш, В.А. Склепус // Резание и инструмент. – 1988. – Вып. 39. – С. 95–98.
3. Козлов, А.М. Формирование микрорельефа при обработке абразивным инструментом / А.М. Козлов, В.В. Ефремов // Известия вузов. Машиностроение. – 2004. – № 1. – С. 59–64.
4. Мироседи, А.И. Модели абразивного инструмента на основе полигонального описания отдельных зерен / А.И. Мироседи, В.М. Шумячер // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-2003: сб. статей международ. научн.-техн. конф. / Волжский ин-т строительства и технологий (филиал) ВолгГАСУ. – Волжский, 2003. – С. 68–69.
5. Тюльпинова, Н.В. Имитационное моделирование процесса формирования тепловых импульсов в контактной зоне заготовки и шлифовального круга / Н.В. Тюльпинова // Вестник БГТУ. – 2008. – № 1. – С. 24–28.
6. Широков, А.В. К вопросу о прогнозировании и обеспечении параметров шероховатости шлифованной поверхности / А.В. Широков, А.П. Осипов // Известия вузов. Машиностроение. – 2007. – № 6. – С. 76–88.
7. König, W. Three dimensional measurement of the grindingwheel surface – evaluation and effect of cutting behaviour / W. König, W. Lorts // CIRP Ann., 1976. – V. 25, Issue 1. – Pp. 197–202.
8. Zhou, X. Modeling and predicting surface roughness of the grinding process / X. Zhou, F. Xi // Intern. J. of Machine Tools&Manufacture. – 2002. – V. 42. – Pp. 969–977.

[К содержанию](#)