

А.А. Борозна, доц., канд. техн. наук;
А.В. Сергеевичев;
И.И. Костюков
(ФГБОУ ВПО «СПбГЛТУ им. С.М. Кирова», РФ)

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЗЕРЕН ИЗ СФЕРОКОРУНДА ПРИ ШЛИФОВАНИИ ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В кинематической модели абразивного круга из сферокорунда, исходя из этих положений, зерно следует моделировать окружностью. Точками будут представляться режущие элементы зерна – стенки сферы, расположенные по окружности, т.е. не учитывается толщина стенки зерна сферокорунда. В статье показано, что влияние зернистости абразивных кругов из сферокорунда на толщину стружки, срезаемую одним шлифующим зерном, очень велико.

В большинстве случаев при конструировании кинематической модели абразивного инструмента используется допущение: абразивные зерна представляются в виде точек. Вследствие этого форма и размеры зерен в кинематической модели не учитываются. Это объясняется тем, что объектом исследования в кинематике являются не абразивные зерна, а критерии, по которым определяется их работа: толщина, длина стружки, количество одновременно работающих зерен, длина дуги контакта шлифующего зерна с деталью и т. д.

В кинематической модели абразивного круга из сферокорунда, исходя из этих положений, зерно следует моделировать окружностью. Точками будут представляться режущие элементы зерна – стенки сферы, расположенные по окружности, т.е. не учитывается толщина стенки зерна сферокорунда. Окружность зерна при работе и правке претерпевает изменения, расстояние между режущими элементами изменяется и представляет собой длину хорды данной окружности. Это определяет необходимость рассматривать все кинематические критерии применительно к обоим стенкам одного зерна и их суммированию, если определяются условия шлифования, относящиеся ко всему зерну.

Рассмотрим взаимодействие двух соседних абразивных зерен сферокорунда с обнаженными стенками. Режущие элементы зерен разделены по окружности между зернами расстоянием δ , между стенками второго зерна - расстоянием l ; расстояние по радиусу между зернами – H_{12} , между задними стенками зерен – H_{13} . Уравнение траектории движения абразивного зерна при плоском шлифовании пери-

ферией круга представляет собой циклоидальную кривую. Для задней стенки первого абразивного зерна, лежащего на расстоянии от мгновенного центра скоростей, уравнение траектории имеет вид [1]:

$$\begin{cases} x_1 = \frac{V_s}{\omega} \cdot \varphi_1 + R \sin \varphi_1 \\ y_1 = \frac{V_s}{\omega} + R \cos \varphi_1 \end{cases} \quad (1)$$

где V_s – скорость подачи, м/мин; ω – угловая скорость круга с^{-1} , φ_1 – переменный угол контакта задней стенки правого абразивного зерна. Переменный угол контакта режущего элемента абразивного зерна изменяется в диапазоне $0 \leq \varphi_1 \leq \varphi_{\max}$, где $\varphi_{\max} = \sqrt{2h/R}$. h – глубина шлифования, мм.

Угловое расстояние между абразивными зернами $\theta_{12} = \frac{\delta}{R}$ и уравнение траектории для передней стенки второго зерна будет иметь вид:

$$\begin{cases} x_2 = \frac{V_s}{\omega} \left(\varphi_2 - \frac{\delta}{R} \right) + (R \pm H_{12}) \sin \varphi_2 \\ y_2 = \frac{V_s}{\omega} + (R \pm H_{12}) \cos \varphi_2 \end{cases} \quad (2)$$

Угловое расстояние между задними стенками зерен $\theta_{13} = \frac{\delta + l}{R}$ и аналогичное уравнение для задней стенки второго зерна запишется следующим образом:

$$\begin{cases} x_3 = \frac{V_s}{\omega} \left(\varphi_3 - \frac{\delta + l}{R} \right) + (R \pm H_{13}) \sin \varphi_3 \\ y_3 = \frac{V_s}{\omega} + (R \pm H_{13}) \cos \varphi_3 \end{cases} \quad (3)$$

Каждая из траекторий при сложении двух движений: вращательного с угловой осью ω и поступательного со скоростью V_s за один оборот в теле древесины может пересекаться с соседней траекторией не более одного раза. Область между двумя траекториями представляет собой кинематически возможную стружку. Толщина срезаемого слоя одним режущим элементом оказывает очень сильное влияние на весь процесс шлифования, с изменением значения толщины стружки происходит изменение режима работы круга и условий шлифования. От толщины срезаемого слоя обрабатываемого материала зависят силы резания на шлифующем элементе круга, износ зерен, связки, а, следовательно, и стойкость круга, шероховатость обработанной поверхности, мгновенная температура в зоне резания и др.

Уравнение максимальной толщины стружки, снимаемой одним зерном [2], для передней стенки зерна сферокорунда имеет вид:

$$a_1 = 2 \cdot \frac{v_s}{v} \cdot \sqrt{\frac{h}{D}} \cdot \delta \quad (4)$$

Максимальная толщина стружки, срезаемая второй стенкой зерна сферокорунда,

$$a_1 = 2 \cdot \frac{v_s}{v} \cdot \sqrt{\frac{h}{D}} \cdot l \quad (5)$$

где V – скорость резания, м/с, D – диаметр круга, мм. Максимальная толщина слоя обрабатываемого материала, снимаемая одним зерном сферокорунда, $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$.

У сплошных абразивных материалов среза по траектории задней стенки зерна не происходит, толщины срезаемой стружки α_2 не существует, значение l для них характеризовало бы площадку износа зерна. Сферическая форма зерна снижает площадь соприкосновения зерна с обрабатываемым материалом, что ведет к снижению сил трения и температуры в зоне резания.

Число шлифующих зерен, действующих в пределах дуги контакта, будет определяться зависимостью

$$i = \frac{1}{\delta + l} \left(1 + \frac{v_s}{v} \right) \cdot \sqrt{D \cdot h} \quad (6)$$

Толщина стружки, срезаемая одним зерном, и число одновременно работающих зерен определяют любой показатель операции шлифования. Они связаны между собой обратной связью, увеличение одной из величин приводит к уменьшению другой.

Дискретный параметр описания поверхности абразивного инструмента – число шлифующих зерен, действующих в пределах дуги контакта, для кругов из сферокорунда имеет меньшее численное значение, чем для абразивных инструментов из обычных абразивных материалов, так как значение l в формуле (6) учитывает и размер зерна. Толщина стружки, срезаемая одним зерном, для кругов из сферокорунда больше чем для кругов из сплошного абразивного материала, на величину α_2 . А с увеличением значения α должно происходить увеличение шероховатости обработанной поверхности.

Но у сферокорунда одновременно с увеличением толщины стружки происходит и увеличение количества режущих элементов, по сравнению с обычными абразивными материалами. Увеличение количества шлифующих зерен в пределах дуги контакта круга с древеси-

ной, обеспечивающих заданную глубину резания, оказывает положительное влияние на шероховатость обработанной поверхности.

Уравнения (4) и (5) определяют только кинематический возможные толщины стружки, все, какие может реализовать данный рельеф поверхности круга. Совместное решение этих уравнений относительно α позволит получить значения толщины стружки, которые при заданных кинематико-геометрических условиях шлифования обеспечит выбранная характеристика инструмента.

Толщину стружки будем определять применительно ко всему зерну. Из формул (4), (5) выразим значение $(\delta + l)$ и тогда взаимосвязь кинематической и инструментальной моделей будет представлять собой систему уравнений

$$\begin{cases} (\delta + l)_u = 1,18\sqrt{dy} + \frac{(1-\beta_c-\beta_s)\cdot 0,5\cdot d^{2,5}}{\beta_s(19,5(\beta_s+\beta_c)-2,5)\cdot y^{1,5}} + 2\sqrt{(y-b)(d-b-y)} \\ (\delta + l)_K = 0,5\frac{v}{v_s} \cdot \sqrt{\frac{D}{h}} \cdot (\alpha \pm H) \\ y = y' + (\alpha \pm H) \end{cases} \quad (7)$$

Для решения данной системы уравнений используем графический метод, так как точного решения аналитическим методом нет. Примем следующее допущение: разновысотность между зернами отсутствует, т. е. $H = 0$. Применение данного допущения объясняется тем, что разновысотность представляет собой случайную величину, ее трудно прогнозировать, она определяется только экспериментальным путем. Наиболее часто встречающиеся на практике значения $H = 10^{-2} \dots 10^{-5}$ мм [3]. Определение толщины срезаемой стружки и динамического расстояния между режущими элементами зерен абразивных кругов из сфорокорунда произведем для частного случая, когда зерна на поверхности круга срезаны наполовину, т.е. $y' = \frac{d}{2}$.

Графический метод решения системы уравнений (7) изображен на рис. 1. Суммарное расстояние между режущими элементами абразивных зерен $(\delta + l)$ на рассматриваемом интервале изменения значения y практически остается неизменным. Следовательно, динамическое расстояние между режущими элементами абразивного круга, согласно предлагаемой модели, незначительно зависит от режимов шлифования. А толщина стружки, срезаемая определенным рельефом круга, почти полностью определяется кинематическими соотношениями. Они выражаются кинематическим критерием $K = 2\frac{v_s}{v} \sqrt{\frac{h}{D}}$.

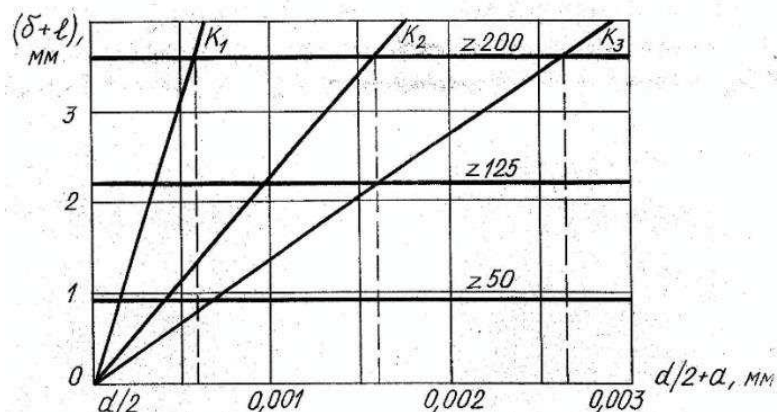


Рисунок 1 – Графический метод определения максимальной толщины стружки, срезаемой одним зерном

Для графического решения использовались три значения К-критерия: $K_1 = 1,623 \cdot 10^{-4}$ ($V = 15$ м/с, $V_s = 0,032$ м/с, $h = 0,2$ мм, $D = 150$ мм), $K_2 = 4,820 \cdot 10^{-4}$ ($V = 25$ м/с, $V_s = 0,116$ м/с, $h = 0,4$ мм, $D = 150$ мм), $K_3 = 7,228 \cdot 10^{-4}$ ($V = 35$ м/с, $V_s = 0,2$ м/с, $h = 0,6$ мм, $D = 150$ мм). В зависимости от величины К-критерия в используемом интервале толщина стружки α меняется от 0,60 до 2,70 мкм для кругов z200; для z50 $\alpha = 0,15 \dots 0,65$ мкм.

Влияние зернистости абразивных кругов из сфериокорунда на толщину стружки, срезаемую одним шлифующим зерном, очень велико. Влияние других инструментальных факторов, параметров его внутреннего объемного строения: относительно содержания зерна β_z и связки β_c – менее значительное.

ЛИТЕРАТУРА

1. Островский В.И. Теоретические основы процесса шлифования. Л.: Из-во ЛГУ, 1991. 144с.
2. Сергеевичев А.В. Анализ разрушения абразивных зерен при шлифовании древесины и древесных материалов // Известия высших учебных заведений «Лесной журнал». №5. Архангельск: АГТУ, 2015, С. 7-15.
3. Сергеевичев А.В. Формирование поверхности древесины и древесных материалов шлифованием. Монография. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 136с.