

В.І.Кальченко, д-р техн. наук, В.В.Кальченко, канд. техн. наук,
А.В.Рудик, канд. техн. наук, В.І.Венжега, Чернігів, Україна

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ОРИЕНТИРОВАННЫМ АБРАЗИВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Theoretical determination of constituents of cutting force at grinding by the oriented abrasive tool with the simultaneous account of parameters of working surface of circle taking into account the closenesses of their distributing

Существуют два метода определения составляющих силы резания: эмпирический и расчетно-экспериментальный. Первый метод основан на измерении силы резания динамометрированием при шлифовании образцов с последующим получением эмпирических зависимостей. Однако расчетные зависимости пригодны для расчетов лишь в условиях близких к экспериментальным, что ограничивает область их применения. Суть расчетно-экспериментального метода сводится к следующему. Принято определять единичную силу резания, действующую на одну режущую кромку; число режущих кромок находящихся в зоне контакта абразивного круга с деталью, а затем, результирующую силу резания.

В настоящее время разработана методика определения составляющих силы резания для круглого и плоского шлифования [1,2,3]. Влияние на них зерен диспергирующих (перемешивающих) металл не учитывают, хотя современные представления об условии резания металла позволяют сделать вывод, что таких зерен большинство. Кроме того, для случаев шлифования ориентированным инструментом расчет составляющих сил резания недостаточно широко освещен в научной литературе и требует дополнительного изучения.

Целью настоящей работы является разработка методики определения силы резания для наиболее общего случая обработки шлифованием поверхностей деталей с учетом диспергирующих зерен.

Для достижения указанной цели необходимо определить:

- Силу, которая действует на одну режущую и диспергирующую кромку;
- Размеры зоны резания, решив векторные уравнения поверхностей инструмента и заготовки;
- Число режущих и диспергирующих металл кромок в зоне резания;
- суммарную силу резания, как интегральную сумму произведений числа кромок, находящихся на заданной глубине проникновения в

поверхность заготовки, на значение единичной силы резания, как для режущих, так и для диспергирующих зерен.

Рассмотрим отдельно пункты данного алгоритма.

1 Силы, действующие на отдельное зерно, по своей величине не значительны и определяются характером работы, которую выполняет абразивное зерно в зоне резания. Так зерно может диспергировать (перемешивать) металл, не производя его съема, и непосредственно принимать участие в резании металла. Статистические расчеты с учетом плотностей распределения [2] параметров рабочей поверхности круга [3] показали, что зерен диспергирующих металл в зоне резания значительно больше (область под графиком на рис.1). На графике представлена аппроксимация полученной экспериментальной зависимости [2] $z(\rho)$ начала процесса резания при микрорезании наклонной пластинки и различных скоростях главного движения, где z - глубина проникновения вершины зерна в материал заготовки, мкм; ρ - радиус ее округления, мкм. Изменение характера производимой зерном работы зависит от отношения z/ρ . Следовательно, соотношение между этими количествами зависит от кинематики процесса и состояния рабочей поверхности круга.

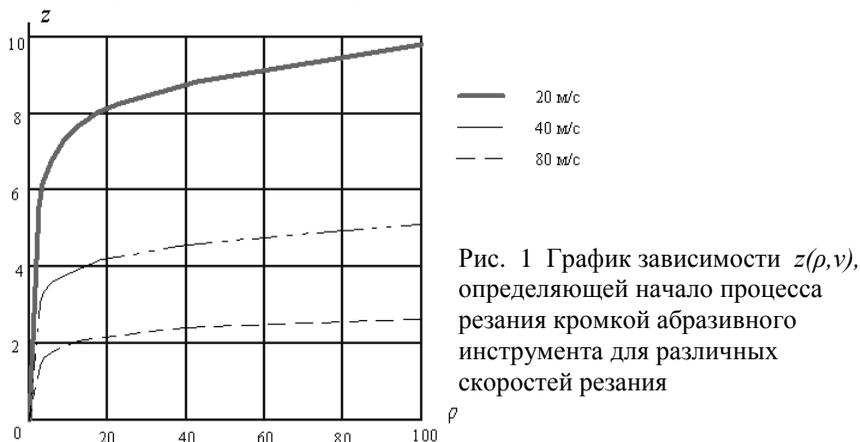


Рис. 1 График зависимости $z(\rho, v)$, определяющей начало процесса резания кромкой абразивного инструмента для различных скоростей резания

Принято считать [1, 2], что на отдельное *режущее* зерно действуют силы сдвига, трения и инерции. Для определения их проекций в радиальном и тангенциальном направлении воспользуемся рассуждениями, приведенными в работе Л.Н.Филимонова [2]:

$$P_c^n = \frac{\tau_s \cdot \left[2z\rho \sqrt{2 \frac{z}{\rho}} \right] \cdot \sin(\beta + \varphi_s)}{\sin \beta \cdot \sin \varphi_s};$$

$$P_c^\tau = \frac{\tau_s \cdot \left[2z\rho \sqrt{2 \frac{z}{\rho}} \right] \cdot \cos(\beta + \varphi_s)}{\sin \beta \cdot \sin \varphi_s};$$

$$P_{mp}^n = \frac{2\pi \cdot \tau_s \cdot z \cdot \rho}{3 \cdot \mu_s};$$

$$P_{mp}^\tau = \frac{2\pi \cdot \tau_s \cdot z \cdot \rho \cdot \mu}{3 \cdot \mu_s};$$

$$P_{ин}^n = f_{cp} \cdot \rho_M \cdot v \cdot v_c \cdot \cos \gamma;$$

$$P_{ин}^\tau = f_{cp} \cdot \rho_M \cdot v \cdot (v - v_c \cdot \sin \gamma)$$

где P^τ , P^n – тангенциальная и радиальная составляющие силы микрорезания единичным зерном, нижний индекс указывает источник возникновения составляющей силы ;

v – скорость резания;

$\beta = 12^\circ$ - угол сдвига обрабатываемого материала;

$\gamma = \arcsin(1 - z/2\rho)$ - передний угол режущей кромки;

f_{cp} - площадь среза;

μ_s , μ - коэффициенты трения в плоскости сдвига и на задней поверхности кромки.

Характер сил действующих на диспергирующие зерна в научной литературе не рассматривается. Для них будем учитывать только силы сдвига и инерции. Тогда

$$P^\tau = P_{резж}^\tau + P_{дисп}^\tau;$$

$$P^n = P_{резж}^n + P_{дисп}^n;$$

$$P_{реж}^{\tau} = P_{сд}^{\tau} + P_{тр}^{\tau} + P_{ин}^{\tau};$$

$$P_{реж}^n = P_{сд}^n + P_{тр}^n + P_{ин}^n;$$

$$P_{дисп}^{\tau} = P_{тр}^{\tau} + P_{ин}^{\tau};$$

$$P_{дисп}^n = P_{тр}^n + P_{ин}^n;$$

При шлифовании толщина срезаемого слоя соразмерна с радиусом ρ округления вершины режущей кромки. По мере её изнашивания радиус ρ увеличивается, а толщина срезаемого слоя для большинства способов шлифования соответственно уменьшается, что приводит к соответствующему изменению соотношения z/ρ , составляющих силы резания.

2 При определении размеров пятна контакта инструмента с заготовкой решают векторные уравнения указанных поверхностей с учетом высоты шероховатости, в пределах которой также возможен контакт. Примеры решения векторных уравнений приведены [5,7].

3 В соответствии с современными научными представлениями [4] зерна рабочей поверхности круга принято характеризовать одновременным учетом следующих параметров: радиуса округления, глубины расположения, вылета. Однако неизвестны современные математические модели рабочей поверхности круга, которые учитывают одновременно все названные параметры.

Определим соотношение между количествами зерен, которые срезают и диспергируют металл (рис. 2).

Рисунок 2 состоит из трех частей и имеет вид номограммы. Левый и правый графики рисунка отображают плотности распределения зерен рабочей поверхности круга по глубине расположения вершин зерен $f(z)$ и радиусов их округления $f(\rho)$ согласно закона бэта- распределения. Данные законы плотностей были получены [2] как для абразивных, так и для эльборовых кругов с различным состоянием рабочей поверхности (после правки или после шлифования). Центральный график имеет две области: внизу (заштрихована) и вверху от него. Он учитывает характер работы, выполняемой данным абразивным зерном (режет либо диспергирует металл).

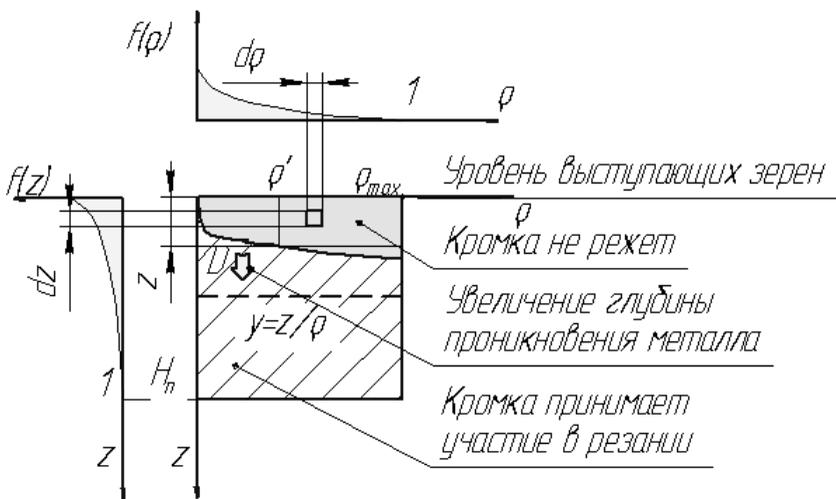


Рис. 2 Зависимость функции распределения отношения z/ρ от параметров рабочей поверхности круга

Наиболее вероятное количество зерен, расположенных на единице площади на данной глубине z и имеющих определенный радиус округления вершины ρ , (на рисунке показано прямоугольником), можно определить согласно выражения (рис.2)

$$n(z, \rho) = f(z) \cdot dz \cdot f(\rho) \cdot d\rho \cdot N_n, \quad (3)$$

где $f(z)$, $f(\rho)$ - плотности распределения количества зерен по глубине расположения и радиусу округления вершины на рабочей поверхности круга, N_n - полное количество режущих кромок по высоте профиля рабочей поверхности круга. Количество зерен на площадке размером ds определяется произведением $ds \cdot n(z, \rho)$.

Для определения числа режущих кромок по поверхности контакта необходимо провести интегрирование по ее размерам с учетом глубины проникновения металла.

Количество зерен, диспергирующих металл, можно определить по графику (рис.2) с учетом плотностей распределения. Они находятся выше центрального графика (затумбованная область), в пределах глубины проникновения металла в рабочую поверхность круга, равную среднему значению толщины среза в выделенной на рисунке области.

Как указывалось, при скоростных режимах шлифования резание начинается со значительно меньших глубин, таким образом, доля зерен срезающих металл значительно увеличивается. Кроме того, глубина

проникновения зерен зависит от проекции вектора скорости относительного движения на вектор нормали к поверхности инструмента V_n . Влияние на толщину среза оказывает высота микронеровностей на поверхности заготовки.

Как было указано [4], состояние зерен рабочей поверхности круга может быть охарактеризовано случайными параметрами – радиусом округления вершины и глубиной расположения относительно уровня наиболее выступающих зерен. По времени работы радиусы округления увеличивают своё значение. Состояние рабочей поверхности круга, в свою очередь, зависит от характеристики инструмента, условий эксплуатации и правки, времени работы.

4. При расчете суммарной силы резания необходимо интегрирование проводить по площади пятна контакта как произведение сил микрорезания (диспергирования) на количество режущих (диспергирующих) кромок.

Интегрирование проводят до глубины проникновения металла, равной максимальной толщине срезаемого слоя, а значения радиусов находятся от минимального до максимально возможного значений.

$$P_{\Sigma}^{\tau} = \iint_S P^{\tau} \cdot n(z, \rho) ds; \quad (4)$$

$$P_{\Sigma}^n = \iint_S P^n \cdot n(z, \rho) ds;$$

где P^{τ} , P^n – силы микрорезания (диспергирования от одного зерна) в тангенциальном и нормальном направлении;

S – размер пятна контакта с учетом высоты микронеровностей.

Список литературы: 1. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей - М., Машиностроение, 1974. 2. Филлимонов Л.Н. Высокоскоростное шлифование - Л.: Машиностроение, 1979, 248 с., ил. 2. Кальченко В.В., Рудик А.В. Теоретичні дослідження товщини шару, який зрізається різальною кромкою, при шліфуванні орієнтованим абразивним інструментом// Вісн. Черніг.технол.ун-ту, 2005, №21.- с. 68-74. 4. Доброскок В.Л. Исследование взаимосвязи параметров продольного профиля кругов с выходными показателями процесса шлифования. //Резание и инструмент в технологических системах.- Межд. научн.-техн. сборник. - Харьков: ХГПУ, 1999. -Вып.- 54 С.80-89. 5. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1986, 336 с. 6. Гусев В.В. Математическое моделирование взаимодействия шлифовального круга и материала заготовки при обработке // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем Збірник наукових праць, Краматорськ: ДДМА. – 2001, Вып.11, с.68- 71. 7. Бурмистров В.В. К теории определения сил шлифования, действующих на единичных зернах при обработке хрупких материалов // Резание и инструмент. 1990, с. 14-19.

Поступила в редколлегию 01.06.05