

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ НА ТОЛЩИНУ СЛОЯ, СНИМАЕМОГО ЕДИНИЧНЫМ ЗЕРНОМ АБРАЗИВНОГО КРУГА

В статье представлены результаты исследования влияния параметров шлифовального круга, режимов резания и режимов правки на толщину среза. Исследован широкий диапазон параметров процесса шлифования, получены зависимости, которые в дальнейшем могут быть использованы для метода определения температуры поверхностного слоя детали.

Ключевые слова: параметр, процесс, шлифование, зерно, срез, модель.

Введение. Известно, что эффективное управление процессом шлифования возможно в том случае, когда основные закономерности, присущие этому процессу представлены в виде математических моделей. Математическая модель позволяет определить структуру и оптимальные характеристики параметров управления процессом шлифования. В общем виде математическое описание процесса является совокупностью уравнений, определяющих связь между параметрами процесса и его технологическими факторами в количественной форме при определенных ограничивающих условиях.

Производительность шлифования деталей, одинаковых по предъявляемому качеству, но изготовленных из разных материалов, различна и обусловлена различной их обрабатываемостью шлифованием. Обрабатываемость шлифованием по производительности определяется обычно как средний съем металла за определенное время при неизменных технологических условиях обработки. Одним из важных элементов технологической системы, который непосредственно влияет на производительность шлифования при гарантированном обеспечении заданного качества обработки, является толщина слоя, снимаемого при шлифовании или иными словами толщина среза a_z .

О важности точного определения толщины среза указано во многих работах. Данную проблему изучали Маслов Е.Н., Корчак С.Н., Глейзер Л.А., Ящерицын П.И. и др. Маслов Е.Н. называет уравнение, определяющее величину a_z "основным уравнением шлифования" [1].

На наш взгляд наиболее полную с практической точки зрения математическую модель разработал Островский В.И. [2]. В работе [2] процесс шлифования представлен как объект управления, для чего используется исходная информация в виде теоретических и экспериментальных количественно оформленных причинно-следственных связей контролируемых входных и выходных параметров. Исходная информация сформирована на базе теоретических моделей.

На практиці необхідно знати не тільки те параметри, що даються емпіричними залежностями, - зв'язь початкового і кінцевого стану, но і шлях до вихідним параметрам, т.е. фізичні закономірності, управляючі процесом, які описуються в теоретичних моделях.

Островским В.И. в качестве физической основы разработана теория, базирующаяся на концепции о сьеме металла при шлифовании как механическом деформационном процессе, обусловленном кинематикой и комплектом объемных и поверхностных свойств заготовки и инструмента, протекающем в условиях высокотемпературного самоподогрева.

Исследование "динамической" модели абразивного инструмента.

Рассмотрим систему уравнений [2], решение которой позволяет получить значение толщины среза при заданных кинематико-геометрических условиях шлифования с учетом выбранных параметров шлифовального круга.

$$\begin{cases} \delta_p = k_\delta \cdot d(d/y)^n \\ \delta_k = 0.5(V_k \cdot V_\delta) \sqrt{D/t} (a_z \pm H) \\ y = a_z \pm H \end{cases} \quad (1)$$

где k_δ - суммарный коэффициент $k_\delta = K_n \cdot K_{ск} \cdot K_{пр}$

K_n - коэффициент поверхностной пористости круга, $K_{ск}$ - коэффициент структуры круга, $K_{пр}$ - коэффициент от режима правки и вида абразивного материала; d – размер зерна; n – показатель степени для ($n=1$ для эльборных и карбидокремневых кругов на керамической связке, $n=1.5$ для электрокорундовых кругов на керамической связке); V_k – скорость круга; V_δ – скорость детали; a_z - толщина среза; H – разность высот между двумя соседними зёрнами.

В результате решения системы уравнений (1) получены следующие зависимости:

а) для $n=1$

$$a_{zm} = 1.41 \cdot d \cdot k_\delta^{0.5} (V_k \cdot V_\delta)^{0.5} (D/t)^{0.25} \quad (2)$$

б) для $n=1.5$

$$a_{zm} = 1.32 \cdot d \cdot k_\delta^{0.4} (V_k \cdot V_\delta)^{0.4} (D/t)^{0.2} \quad (3)$$

Из выражения (2) и (3) следует, что толщина слоя, снимаемого одним абразивным зерном, а следовательно, и нагрузки приходящиеся на каждое зерно в отдельности зависят от всех параметров шлифования, а именно K_n , $K_{ск}$, $K_{пр}$, d , V_k , V_δ , D , t . Каждый из этих параметров в той или иной степени влияет на толщину среза. Правильный выбор параметров круга, режимы шлифования, режимы правки круга будут влиять не только на a_z , но и, в

конечном счете, на качество обработки и производительность.

Например, известно, что при обработке труднообрабатываемых металлов, имеющих в большинстве случаев высокие прочностные характеристики и, относительно, малую теплопроводность рекомендуются скорости круга в пределах 20-35 м/с. Конструкционные стали, рекомендуется, шлифовать при скоростях 50 м/с и более. При шлифовании колец подшипников качения применяются скорости 80–100 м/с и более.

Кроме того, в наших исследованиях теплофизики процесса шлифования при разработке конечно-разностной модели необходимо учитывать значение толщины среза a_z [3]. При этом мы задавали фиксированное значение $a_z=5$ мкм. Аналогичная ситуация с определением a_z при моделировании аналитической модели расчета температуры на шлифуемой поверхности детали [4]. Однако, учитывая вышеизложенные модели (1), (2), (3) появляется возможность в получении более точного значения a_z рис. 1.

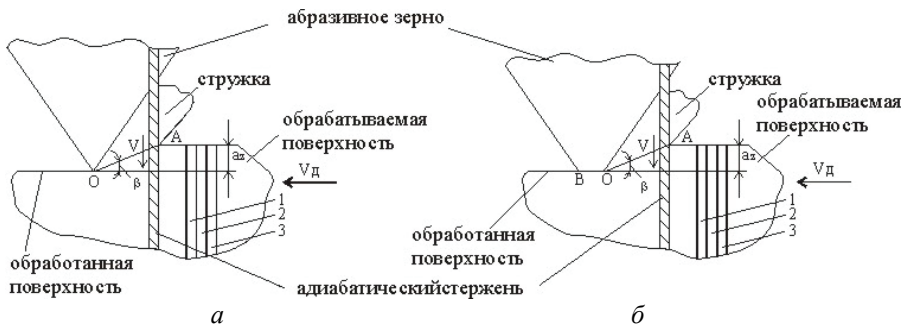


Рис. 1 – Расчетная схема микрорезания:
а – абсолютно острым зерном; б – с площадкой износа

Расчетная схема микрорезания абсолютно острым зерном показана на рис.1 а, и с площадкой износа показана на рис.1 б. Это плоская схема резания, т.е. зерно, принимается как-бы бесконечным в направлении перпендикулярному чертежу. Согласно этой схеме зерно принимается либо абсолютно острым (нет площадки износа), либо с площадкой износа OB и отрицательным передним углом резания. Вращательное движение шлифовального круга заменяем на поступательное и принимаем, что зерно стоит, а движется обрабатываемая поверхность в направлении скорости детали V_d . Срезание слоя толщиной a_z происходит за счет сдвига по плоскости сдвига, след которой на плоскости чертежа линия OA . Обрабатываемую поверхность представляем как совокупность адиабатических стержней 1, 2, 3 и т.д. Когда такой стержень входит в зону резания и перерезается на плоскости сдвига, он как-бы продлевается в стружку и абразивное зерно.

Определим при помощи математического пакета Mathcad влияние зернистости шлифовального круга на толщину среза a_z . В качестве примера

возьмем круги 24A6C27K - 24A50C27K.

$K_{\Pi} := 2.25$ коэффициент поверхностной пористности (табл. 3.4 [2])
 $K_{Ск} := 0.033$ коэффициент структуры круга (табл. 3.5 [2])
 $K_{\alpha} := 1$ коэффициент, зависящий от вида абразивного материала
 $K_{\alpha}=1$ - для электрокорунда белого
 $S_{\Pi} := 0.025$ мм/ход поперечная подача
 $S_{\Pi r} := 0.5$ мм/об продольная подача
 $C := 0.024$
 $K_{\Pi r} := K_{\alpha} \cdot C \cdot \sqrt{\frac{S_{\Pi r}}{S_{\Pi}}}$ коэффициент от режима правки и вида абразивного материала
 $K_{\Pi r} = 0.10733$
 $K_{\delta} := K_{\Pi} \cdot K_{Ск} \cdot K_{\Pi r}$ $K_{\delta} = 0.00797$
 $n := 1.5$
 $\underline{R} := 375$ мм радиус круга
 $r := 50$ мм радиус детали
 $V_k := 50$ м/с $V_d := 1$ м/с
 $t := 0.02$ мм глубина резания

$D := 2 \cdot \frac{R}{1 + \frac{R}{r}}$ эквивалентный диаметр $D = 88.235$ $K_{\delta} := 0.00793$
 $d := 0.028, 0.064 \dots 2.000$ мм размер зерна (зернистость)

$$az(d) := 1.32 \cdot K_{\delta}^{0.4} \cdot d \cdot \left(\frac{V_d}{V_k}\right)^{0.4} \cdot \left(\frac{t}{D}\right)^{0.2}$$

$\min az(0.028) = 0.000208$ мм $\max az(2.000) = 0.014887$ мм

Из расчета видно, что толщина среза a_z изменяется от 0.045 мкм до 0.372 мкм.

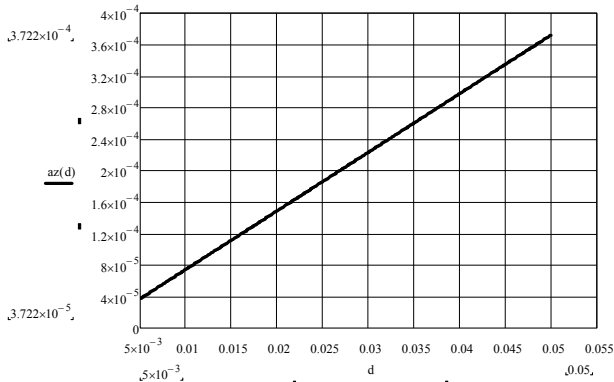


Рис. 2 – Влияние зернистости круга на толщину среза

Известно, что на формирование шероховатости оказывает существенное влияние состояние рабочей поверхности шлифовального круга. Важно знать какова будет взаимосвязь шероховатости и толщины среза a_z . Данные знания актуальны на ранних стадиях проектирования технологического процесса механической обработки детали в целом и процесса шлифования в частности, а именно эти знания позволят правильно выбрать параметры шлифовального круга и как следствие точно рассчитать режимы резания. Кроме того, данные знания могут быть использованы при разработке программного обеспечения для шлифовальных станков с замкнутой системой управления.

В качестве исходных данных используем методику расчета режимов резания и норм времени для круглого наружного шлифования [4] приложение 42, лист 1 (см. табл.1).

Таблица 1 – Зависимость зернистости от шероховатости

Требуемая шероховатость Ra, мкм до	0.05	0.08	0.125	0.2	0.32	0.5	0.8	1.25	2.0	3.2
Зернистость	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50

В результате аппроксимации таблицы получена зависимость:

$$d = 28.346 \cdot Ra^{0.497} - 0.18 \quad (4)$$

График взаимосвязи требуемой шероховатости и толщины среза представлен на рис.3.

Аналогично зернистости видно, что зависимость требуемой шероховатости и толщины среза изменяется в достаточно большом диапазоне.

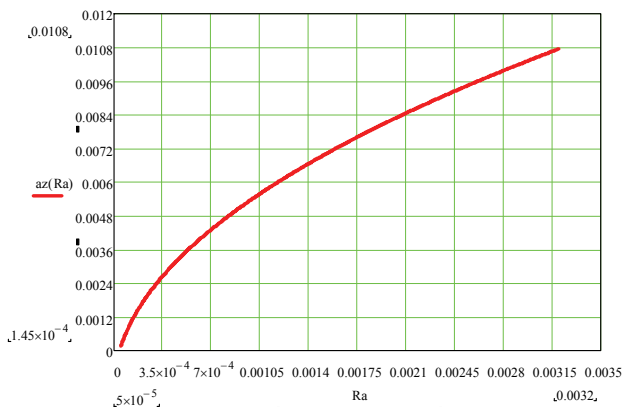


Рис. 3 – Взаимосвязь требуемой шероховатости и толщины среза

Далее для определения влияния параметров шлифовального круга пористости, структуры и твердости выполнена аппроксимация: таблицы 3.4 [2] где приведены коэффициенты поверхностной пористости K_p , и таблицы 3.5 [2] где приведены коэффициенты структуры круга $K_{ск}$. Получены расчетные формулы. Графики представлены на рис.4.

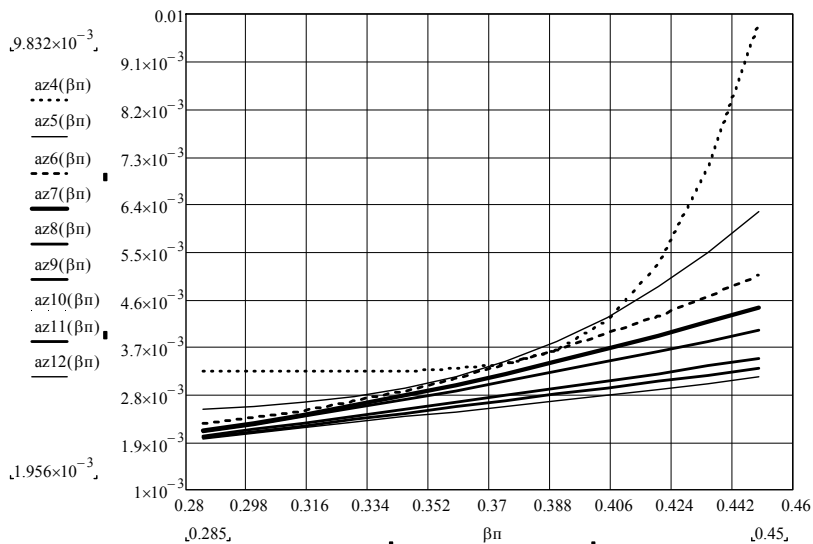


Рис. 4 – Влияние параметров шлифовального круга на толщину среза

На рис.4 параметр $a_z4(\beta_p)$ соответствует сочетанию 4 структуры и твердости от Т2 до М1 (верхний график с максимальным значением a_z от 3.24 мкм до 9.83 мкм), параметр $a_z12(\beta_p)$ соответствует сочетанию 12 структуры и твердости от Т2 до М1 (нижний график с минимальным значением a_z от 1.96 мкм до 3.12 мкм).

Выполнено моделирование влияния диаметра заготовки на a_z (рис.5). Значение a_z изменяется от 4.6 мкм до 2.42 мкм.

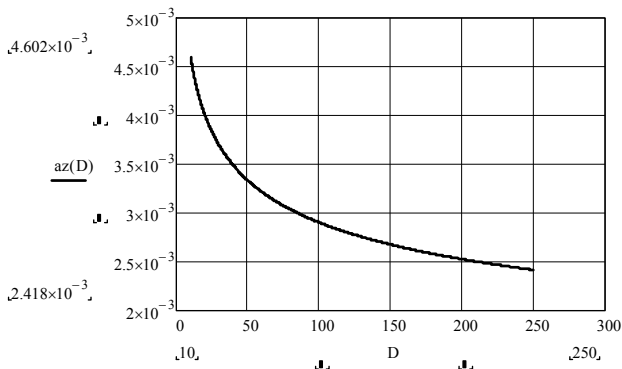


Рис. 5 – Влияние диаметра заготовки на толщину среза

Также выполнено моделирование влияния эквивалентного диаметра на a_z (рис.6). Значение a_z изменяется от 5.89 мкм до 2.95 мкм.

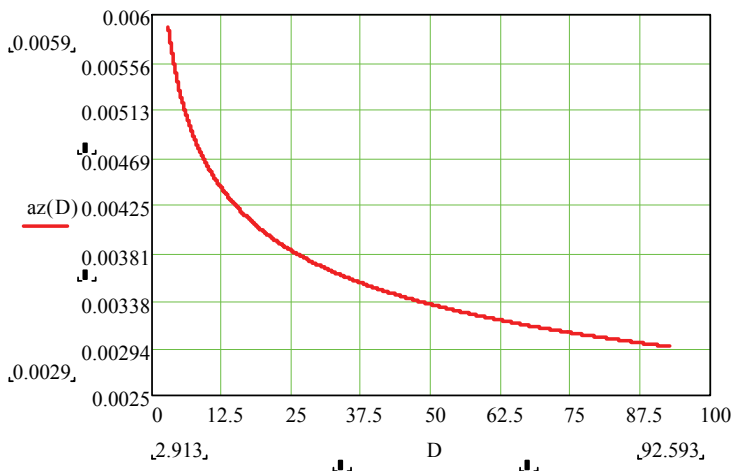


Рис. 6 – Влияние эквивалентного диаметра на толщину среза

При исследовании влияния скорости детали в качестве исходных данных используем методику расчета режимов резания и норм времени для круглого наружного шлифования [5] карта 106 (см. табл.2).

Данная методика учитывает твердость заготовки для материалов с различной обрабатываемостью для семи групп [5] приложение 41 лист 2-3.

Установлено, что для деталей 1,2 и 7 групп и твердости HRCэ <30 изменение частоты вращения заготовки от 400 об/мин до 45 об/мин приводит к изменению a_z от 0.66 мкм до 7.62 мкм.

Для деталей 1 и 2 группы и твердости HRCэ 30...50 изменение частоты вращения заготовки от 485 об/мин до 60 об/мин приводит к изменению a_z от

0.75 мкм до 7.53 мкм.

Таблица 2 – Частота вращения заготовки для круглого наружного шлифования с поперечной подачей

Диаметр заготовки максимальный, мм, до	Группа обрабатываемости материала		
	1,2,7	1,2	1-6
	Твердость HRCэ		
	<30	30...50	>50
Частота вращения заготовки, n_T , об/мин			
10	400	485	610
18	265	350	420
30	205	260	310
50	155	190	240
80	120	145	180
120	95	115	145
180	70	90	110
250	60	75	90
315	55	65	80
400	45	60	70

Для деталей 1-6 группы и твердости HRCэ >50 изменение частоты вращения заготовки от 610 об/мин до 70 об/мин приводит к изменению a_z от 0.79 мкм до 8.25 мкм. В качестве примера приведен график на рис.7.

Выполнено моделирование влияния скорости круга на a_z (рис.8). Изменение a_z наблюдается в диапазоне от 3.65 мкм до 2.1 мкм.

Также для данных условий выполнялось моделирование влияния режимов правки, при этом изменение a_z наблюдается в диапазоне от 1.27 мкм до 0.8 мкм.

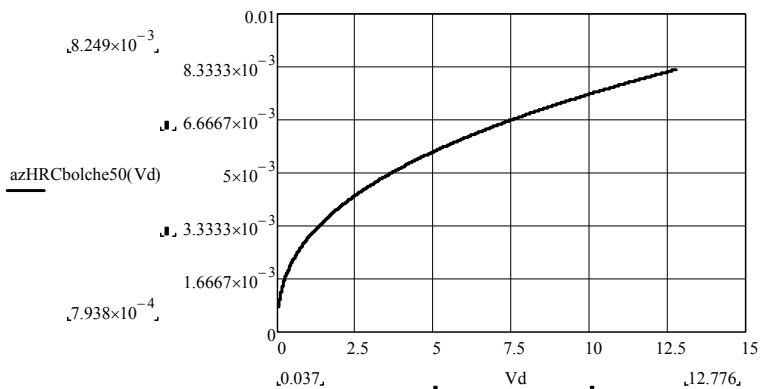


Рис. 7 – Влияние скорости заготовки на толщину среза

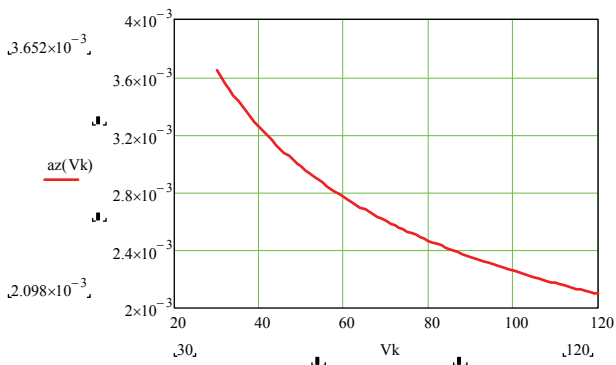


Рис. 8 – Влияние скорости круга на толщину среза

Выводы. В результате проведенного исследования получены математические зависимости, которые могут быть использованы для метода определения температуры поверхностного слоя деталей с разными физико-механическими свойствами для различных этапов цикла шлифования.

Список литературы: 1. Маслов Е.Н. Основы теории шлифования металлов. - М.: Машиностроение, 1974.- 319 с. 2. Островский В.И. Теоретические основы процесса шлифования. Изд-во Ленинградского университета, 1981.- 141 с. 3. Сизый Ю.А., Сталинский Д.В., Ушаков А.Н. Теплофизика массового резания абразивными зёрнами шлифовального круга. Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХП». – 2010. – №41. – 134с. С.46-70. 4. Сизый Ю.А., Сталинский Д.В., Ушаков А.Н. Температура резания абразивными зёрнами при шлифовании. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 115. Харків: ХНТУСГ. – 2011. – №115. – 251с. С.86-90. 5. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ. ч.2 нормативы режимов резания.- М.: Экономика, 1990.- 473 с.

Надійшла до редколегії 29.10.2012

УДК 621.92

Исследование влияния параметров процесса шлифования на толщину слоя, снимаемого единичным зерном абразивного круга / А. Н. Ушаков // Вісник НТУ «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХП», 2012. – № 53(959). – С.72-80. – Бібліогр.: 5 назв.

У статті представлені результати дослідження впливу параметрів шліфувального кола, режимів різання й режимів виправлення на товщину зрізу. Досліджено широкий діапазон параметрів процесу шліфування, отримані залежності, які надалі можуть бути використані для методу визначення температури поверхневого шару деталі.

Ключові слова: параметр, процес, шліфування, зерно, зріз, модель.

In this article result of probe of influence of parameters of a wheel, conditions of cutting and straightening conditions on width of a cut are presented. The wide range of parameters of process of grind is examined, dependences which can be used further for a method of definition of temperature of a surface layer of a detail are received

Keywords: Parameter, process, grinding, grain, cut, model.