

УДК 621.923



А.Н. Михайлов,
д.т.н., професор,
заведуючий кафедрой,
Донецкий национальный
технический университет
tm@mech.dgtu.donetsk.ua



А.В. Байков,
к.т.н., доцент,
Донецкий
национальный
технический
университет
tm@mech.dgtu.donetsk.
ua

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПРИРОДНОГО КАМНЯ ПРИ ТОНКОМ ШЛИФОВАНИИ

А.Н. Михайлов, А.В. Байков. Обеспечение геометрической точности деталей из природного камня при тонком шлифовании. Предложена конструкция инструмента и схема обработки плоской поверхности, обеспечивающие повышение геометрической точности изготавливаемой детали

A.N. Mikhaylov, A.V. Baykov. Providing geometric precision parts made of natural stone with fine grinding. A design of the tool and the processing circuit flat surface, providing increase the geometric accuracy of manufactured parts

Введение. В настоящее время изделия из природного камня (ПК) находят все более широкое применение в машиностроении. Вследствие таких характеристик данных материалов как термостабильность и виброустойчивость из них, в частности, из гранита, изготавливают поверочные и контрольные плиты, станины прецизионных металлорежущих станков и контрольно-измерительных машин.

Причем к изделиям машиностроительного назначения предъявляются высокие требования как к шероховатости, так и к геометрической точности, в частности, к неплоскостности поверхности. В условиях, когда ширина обрабатываемой поверхности превышает диаметр торцового шлифовального инструмента, требуемая величина отклонения от плоскостности обеспечивается за счет сочетания конструкции алмазосносного слоя инструмента и схемы перемещения инструмента по обрабатываемой поверхности [1, 2].

Одним из наиболее важных этапов обработки деталей из ПК является тонкое алмазное шлифование (ТАШ), т.к. качество поверхности на заданном этапе определяет трудоемкость заключительной операции обработки - полирования. На этапе тонкого алмазного шлифования деталей из природного камня в настоящее время все более активно используется инструмент на полимерном эластичном связующем [3], обладающий определенной специфической характера съема материала.

Таким образом, для обеспечения геометрической точности поверхности при тонком алмазном шлифовании изделий из природного камня необходимо определить рациональное сочетание конфигурации алмазоносного слоя торцового шлифовального инструмента и траектории относительного движения обрабатываемой детали и круга.

Материал и результаты исследований. Одной из распространенных схем обработки крупногабаритных деталей является схема «зигзаг», при которой перемещение центра инструмента по поверхности заготовки описывается ломаной линией (рис. 1).

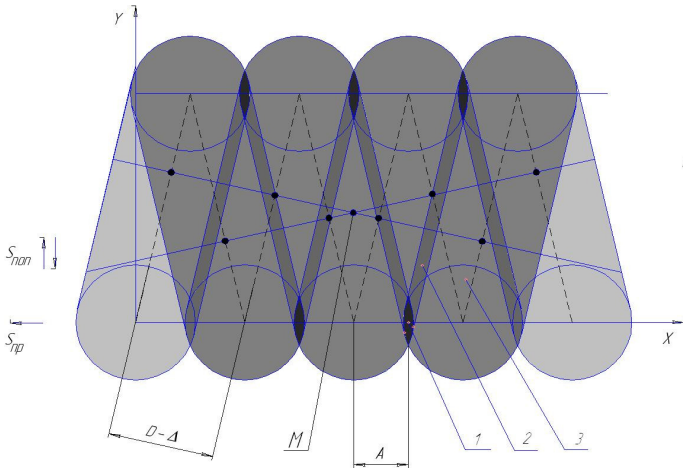


Рис. 1. Траектория перемещение центра инструмента и наложение полос обработки при движении инструмента по схеме «зигзаг».

Аналитическое представление изменения поверхности детали в процессе обработки принято представлять в матричной форме:

$$A_1 = A_0 - B,$$

где A_1, A_0 - матрицы порядка $m \times n$, отражающие текущие аппликаты, отсчитываемые от базовой поверхности детали в момент времени соответственно t_1 и t_2 ($m \times n$ - число элементарных площадок размером $\partial x \times \partial y$ на поверхности детали);

B - матрица порядка $m \times n$, определяющая величину съема материала по каждой элементарной площадке поверхности детали за время $\Delta t = t_2 - t_1$.

Величина съема (1) и время, определяющее положение начала координат шлифовального круга (2), будут определяться следующими уравнениями (для k -го прохода шлифовального круга по поверхности детали):

$$\left. \begin{aligned} z_k &= f(x_k) = z ; \\ x_k &= [x - S_{np}(k-1)t_p - S_{np}t_k] / \cos \varphi_g . \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$t_k = \frac{[x - S_{np}(k-1)t_p] \sin \varphi_g + y \cos \varphi_g}{S_{np} \sin \varphi_g + S_{non} \cos \varphi_g} . \quad (2)$$

где φ_g – угол между осями координат обрабатываемой детали и шлифовального круга, град., определяется из условия перекрытия полос обработки шлифовальным кругом;

$f(x_k)$ – зависимость величины съема материала от расстояния до центра шлифовального круга

x_k – координата радиуса-вектора начального репера на участке k ;

S_{np} – скорость перемещения заготовки (продольная подача), м/с;

S_{non} – скор. перемещения оси инструмента (поперечная подача), м/с;

t_k – текущее время; время перемещения оси инструмента по участку k

t_p – время реверса направления поперечной подачи шлифовального круга.

Величина съема материала в каждой точке заготовки определяется путем наложения величин съема при каждом проходе инструмента:

$$z_0 = z_1 + z_2 + \dots + z_n . \quad (3)$$

Выражения (1) и (3) позволяют определить величину съема материала в любой точке детали при многократном прохождении через нее шлифовального круга. Разница между максимальной и минимальной величиной съема будет характеризовать неравномерность съема, определяемую кинематическими параметрами при данной схеме обработки.

Очевидно, что движение шлифовального круга по схеме «зигзаг» ведет к различному количеству проходов инструмента в различных зонах заготовки. Кроме того, каждая точка заготовки находится на различном расстоянии от центра перемещения инструмента, что также влияет на неравномерность съема материала.

Как показали результаты исследований [4], вследствие указанных факторов величина коэффициента неравномерности съема материала для шлифовальных кругов с различной конструкцией рабочего слоя и при различном сочетании кинематических параметров, не достигает значения менее $\psi=2$, что не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к поверхности указанных деталей.

Для исключения многократного прохождения шлифовального круга по одной и той же элементарной площадке обрабатываемой поверхности предложена схема построения трассирования с подъемом шлифовального круга при перемещении на очередную строку (рис. 2).

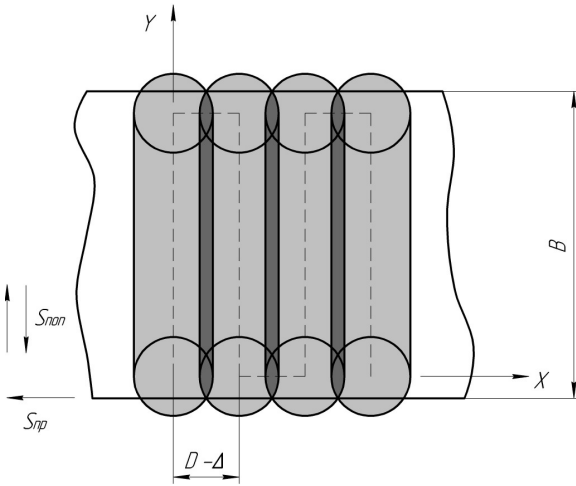


Рис. 2. Наложение полос обработки при движении шлифовального круга по схеме «ступенька с подъемом»

нениями (для k -го прохода шлифовального круга по поверхности детали):

$$\left. \begin{aligned} x_k &= x - (k-1) \cdot (D - \Delta) \\ z_k &= f(x_k) \\ z_k &= 0 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{при } |x_k| \leq R \\ \text{при } |x_k| > R \end{array} \quad (4)$$

где x и x_k – абсцисса точки поверхности в системе координат соответственно обрабатываемой детали и шлифовального круга;

$f(x_k)$ – функция распределения величины съема вдоль радиуса шлифовального круга;

z_k – величина съема в данной точке поверхности при k -ом проходе;

D – диаметр шлифовального круга;

R – радиус шлифовального круга.

Для определения функция распределения величины съема вдоль радиуса шлифовального круга рассмотрим относительное движение элементарных площадок заготовки по поверхности шлифовального круга, и полагая удельное давление одинаковым по всей поверхности зоны контакта (для шлифования эластичным инструментом), величина съема материала на каждой элементарной площадке будет определяться величиной среднего значения скорости взаимодействия поверхности шлифовального с элементарной площадкой заготовки. Среднее значение скорости определено через значение величины радиус-вектора контакта в текущий момент времени [5].

Шлифовальный круг перемещается от одного края изделия к другому, приподнимается над обрабатываемой поверхностью до прекращения контакта, смещается на величину, обеспечивающую требуемое значение перекрытия полос обработки, и перемещается в обратном направлении. Далее цикл повторяется.

Предложенная схема позволяет получить регулярную картину наложения полос обработки. Величина съема материала будет постоянной вдоль направления поперечной подачи и переменной вдоль продольной подачи. Она будет определяться положением начала координат шлифовального круга и описываться урав-

Значение величины съема материала в точке, расположенной на расстоянии m от траектории движения центра инструмента:

$$Z = C_m p k \frac{4\pi n}{1000} \int_0^{t_1} \sqrt{R^2 - 2St\sqrt{R^2 - m^2} + (St)^2} dt, \quad (5)$$

где z - линейный съем в данной точке поверхности детали;

C_m - постоянная, характеризующая конкретные условия обработки (зернистость и твердость инструмента, свойства обрабатываемого материала и т.д.), Мпа⁻¹;

p - удельное давление в зоне резания, МПа;

k - коэффициент заполнения алмазоносного слоя инструмента, [1,3];

R - наружный радиус шлифовального круга, мм;

S - величина подачи, мм/с;

t - время, с.

Используя выражение (5) и задавая закон изменения значения коэффициент заполнения алмазоносного слоя инструмента можно рассчитать величину съема материала в каждой элементарной полосе обработки, равной диаметру ширины круга и определить неравномерность съема при данных условиях обработки.

Для практического применения более интересна обратная задача – определить характер изменения коэффициента заполнения алмазоносного слоя, обеспечивающий наибольшее значение равномерности съема материала. С целью упрощения решения данной задачи и исключения необходимости интегрирование по двум переменным: скорости резания и коэффициента заполнения алмазоносного слоя шлифовального круга, поверхность шлифовального круга будем рассматривать как совокупность кольцевых зон конечной ширины. Для каждой зоны значение скорости резания и коэффициента заполнения алмазоносного слоя шлифовального круга можно рассматривать как постоянные величины.

В этом случае от интегрирования можно перейти к суммированию и система уравнений (1) примет вид:

$$\left. \begin{aligned} z_1 &= C_m p \bar{k}_1 \bar{V}_1 t_{11} \\ z_2 &= C_m p (\bar{k}_1 \bar{V}_1 t_{21} + \bar{k}_2 \bar{V}_2 t_{22}) \\ &\dots\dots\dots \\ z_i &= C_m p (\bar{k}_1 \bar{V}_1 t_{i1} + \bar{k}_2 \bar{V}_2 t_{i2} + \dots + \bar{k}_j \bar{V}_j t_{ij}) \\ &\dots\dots\dots \\ z_q &= C_m p (\bar{k}_1 \bar{V}_1 t_{q1} + \bar{k}_2 \bar{V}_2 t_{q2} + \dots + \bar{k}_j \bar{V}_j t_{qj} + \dots + \bar{k}_q \bar{V}_q t_{qq}) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где \bar{k}_j - среднее значение коэффициента заполнения алмазоносного слоя для j -ой кольцевой зоны шлифовального круга;

\bar{V}_j - среднее значение скорости резания для j -ой кольцевой зоны шлифовального круга;

q – количество элементарных кольцевых зон шлифовального круга и полос обработки обработанной поверхности;

t_{ij} – время взаимодействия i -ой элементарной площадки обрабатываемого материала с j -ой кольцевой зоной инструмента.

Для получения однозначного решения системы уравнений (6), количество кольцевых зон инструмента должно быть равно рассматриваемому количеству полос обработки.

Время взаимодействия j -й кольцевой зоны инструмента с i -й полосой обработки в общем случае определяется выражением:

$$\left. \begin{aligned} t_{ij} &= \frac{2\left(\sqrt{[R-(j-1)l]^2 - [R-(i-0,5)l]^2} - \sqrt{[R-jl]^2 - [R-(i-0,5)l]^2}\right)}{S} && \text{при } j > i \\ t_{ij} &= \frac{2\sqrt{[R-(j-1)l]^2 - [R-(i-0,5)l]^2}}{S} && \text{при } j = i \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где R – наружный радиус шлифовального инструмента, м;

S - величина подачи, м/мин.;

l - ширина кольцевой зоны шлифовального круга и рассматриваемой элементарной полосы обработки, м; $l = (R - r)/q$, где r – радиус центрального отверстия шлифовального круга.

Среднее значение скорости резания для j -й кольцевой зоны шлифовального круга определяется выражением:

$$\bar{V} = \frac{2\pi n[R - (j - 0,5)l]}{1000}. \quad (8)$$

Расчет по формуле (6) значений коэффициента заполнения для каждой кольцевой зоны, обеспечивающего наиболее возможную равномерность съема, был проведен для торцового шлифовального круга с размерами: $D=160$ мм, $d=16$ мм. Величина съема назначалась при соблюдении условия $k_j \leq 1$. Изменение коэффициента заполнения вдоль радиуса инструмента при значении коэффициента корреляции $r=0,9845$ описывается выражением:

$$y = 0.736 + 0.0499x - 0.0028x^2 + 0.000037x^3 - 0.0000002x^4$$

В полосе обработки коэффициент неравномерности съема, для полученной геометрии составляет $Y=1,10$, что является достаточно хорошим результатом.

Для шлифовального круга с данной конструкцией алмазоносного слоя исследовалось влияние степени перекрытия полос обработки для траектории перемещения инструмента по поверхности заготовки, приведенной на рис.2. Полученные результаты графически представлены на рис. 3.

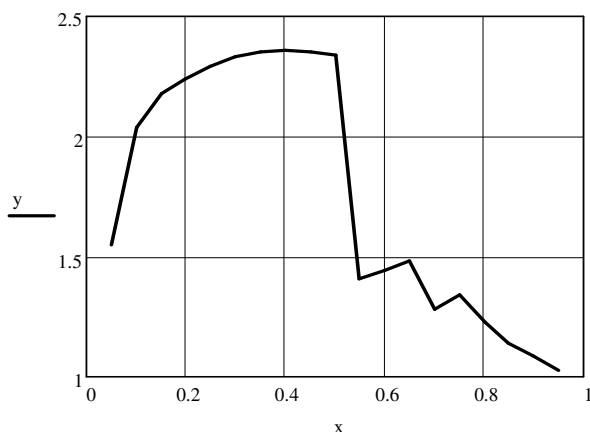


Рис. 3. Зависимость коэффициента неравномерности съема Y от степени перекрытия полос обработки X

Анализ полученной зависимости показывает, что существенное уменьшение коэффициента неравномерности съема наблюдается при превышении степени перекрытия полос величины $X=0,5$. Это обусловлено тем, что начиная с этой величины степени перекрытия рабочая поверхность шлифовального круга многократно проходит по поверхности заготовки, причем, с увеличением кратности проходов коэффициент неравномерности приближается к значению $Y \approx 1$. Аналогичная тенденция наблюдается при обработке поверхности по схеме, приведенной на рис.1, но численные значения коэффициента неравномерности в при обработке по предлагаемой схеме в $2 \div 2,5$ раза меньше [4].

Выводы. При торцовом шлифовании поверхностей, габариты которых превышают диаметр шлифовального круга, на обеспечение геометрической точности влияют конструкция алмазоносного слоя инструмента и схема его перемещения по поверхности заготовки. Характер влияния конструкции рабочего слоя инструмента на неравномерность съема материала определяется коэффициентом заполнения алмазоносного слоя.

Предлагаемая методика расчета коэффициента заполнения, основанная на дискретизации поверхности шлифовального круга, позволяет в зависимости от кинематических параметров обработки определить характер изменения коэффициента заполнения вдоль радиуса инструмента, что является основанием для конструирования рабочей поверхности шлифовального круга.

Расчеты неравномерности съема припуска для предложенной схемы обработки «ступенька с подъемом» позволили определить рациональную степень перекрытия полос обработки.

При удалении необходимого припуска за один проход инструмента по поверхности заготовки, необходимо выбирать минимальную величину степени перекрытия и конструировать рабочую поверхность инструмента, обеспечивающую линейное нарастание величины съема в периферийной зоне шлифовального круга.

При удалении припуска за несколько проходов, целесообразно принимать степень перекрытия более чем $X=0,5$, корректируя режимные параметры обработки. При этом коэффициент неравномерности съема материала будет в $2\div 2,5$ раза меньше, чем при обработке по схеме «зигзаг», что обеспечит повышение геометрической точности изготавливаемой детали.

Литература

1. Филатов А. Ю. Особенности формирования макро- и микрорельефа плоских поверхностей деталей из неметаллических материалов при алмазном шлифовании / А. Ю. Филатов, В. И. Сидорко, Ю. Д. Филатов // Сверхтвердые материалы. - 2007. - № 6. - С. 48-57.
2. Горобец И. А. Повышение качества шлифования заготовок из природного камня / И. А. Горобец, Н. В. Голубов, И. А. Чвала // Научный Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии. - Краматорск, 2011. - № 1 - С. 29-37.
3. Курілович В. Д. Підвищення ефективності фактурної алмазно-абразивної обробки природного каменю / В. Д. Курілович, С. В. Ковальов, Ю. Д. Філатов // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Машинобудування». - Київ. - 2012. - № 64 – С. 106-112.
4. Влияние конструкции рабочей поверхности торцовых шлифовальных кругов на показатели обработки крупногабаритных деталей / А.В. Байков, Е.А. Чернышев, А.Н. Михайлов, Л.Н. Феник // Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XVI международной научно-технической конференции в г. Севастополе 14-19 сентября 2009 г. В 4-х томах. – Донецк : ДонНТУ, 2009. - Т. 1. – С.64-68.
5. Михайлов А.Н. Формообразование плоской поверхности при обработке эластичным шлифовальным инструментом / А.Н. Михайлов, А.В. Байков, М.С. Ковалев // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Междунар. сб. науч. тр. – Донецк : ДонГТУ, 2000. - Вып.10. - С.137-143.

Надійшла до редакції 09.04.2014