



СОЮЗ СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

АВТОРСКОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО

№ 1484607

На основании полномочий, предоставленных Правительством СССР,
Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий
выдал настоящее авторское свидетельство на изобретение:
"Способ глубинного шлифования цилиндрической детали"

Автор (авторы): Новиков Федор Васильевич, Суворов Евгений
Иванович, Жаровский Олег Николаевич и Новиков Григорий
Васильевич

Заявитель: СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ПРОЕКТНЫЙ КОНСТРУКТОРСКО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПО РАЗРАБОТКЕ И ВНЕДРЕНИЮ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ С
ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Заявка № 4310035 Приоритет изобретения 28 сентября 1987г.

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений СССР

8 февраля 1989г.

Действие авторского свидетельства распро-
страняется на всю территорию Союза ССР.

Председатель Комитета

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Иванов", written over a faint circular stamp.

Начальник отдела

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Зинин", written over a faint circular stamp.



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ
ПРИ ГИИТ СССР

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 4310035/30-08
(22) 28.09.87
(46) 07.06.89. Бюл. № 21
(71) Специализированный проектный,
конструкторско-технологический
институт по разработке и внедрению
автоматизированных систем для обо-
рудования с программным управлением
(72) Ф.В. Новиков, Е.И. Суворов,
О.Н. Жаровский и Г.В. Новиков
(53) 621.9(088.8)
(56) Авторское свидетельство СССР
№ 1199594, кл. В 24 В 1/00, 1985.

(54) СПОСОБ ГЛУБИННОГО ШЛИФОВАНИЯ
ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ДЕТАЛИ

(57) Изобретение относится к машино-
строению, а именно к глубинному шли-
фованию цилиндрических деталей,
совершающих вращательные движения,
при котором осуществляют врезание
на полную глубину шлифования с пе-
ременной поперечной подачей и обра-
ботку детали ведут с постоянной глу-
биной шлифования. Цель - повышение
производительности обработки при
заданной интенсивности износа круга

Изобретение относится к машино-
строению и может быть использовано
при предварительном шлифовании ци-
линдрических деталей, преимуществен-
но кругами из синтетических сверх-
твердых материалов (СТМ).

Цель изобретения - повышение
производительности обработки при за-
данной интенсивности износа круга из

из синтетических сверхтвердых мате-
риалов путем периодического измене-
ния глубины шлифования. Для этого де-
тали после врезания на полную глуби-
ну шлифования дополнительно сооб-
щают колебательные движения по ли-
нии, соединяющей центры круга и де-
тали в диаметральном сечении, с час-
отой, определяемой заданной высотой
микронеровностей обрабатываемой по-
верхности, и амплитудой, выбранной
из условия $t/t_1 = 20-100$, и непре-
рывно измеряют текущую глубину шлифо-
вания, а обработку производят с пере-
менной скоростью вращения детали,
изменяющейся в соответствии с зави-
симостью, учитывающей объемную кон-
центрацию и зернистость круга, ско-
рость круга, максимальное t и ми-
нимальное t_1 значения глубины шли-
фования, максимальную толщину среза,
радиуса круга и детали, параметр
шероховатости обработанной поверхно-
сти, скорость движения детали по ли-
нии, соединяющей центры круга и де-
тали в диаметральном сечении. 4 ил.
2 табл.

СТМ путем периодического изменения
глубины шлифования.

На фиг. 1 приведена расчетная
схема глубинного шлифования цилиндри-
ческой детали, поясняющая сущность
предлагаемого способа, на фиг. 2 -
перемещение точки контакта при ра-
диальных колебательных движениях де-
тали, на фиг. 3 - расчетная схема

(19) **SU** (11) **1484607** **A1**

для определения частоты колебаний, на фиг. 4 - устройство для реализации способа.

В схеме на фиг. 1 приняты следующие обозначения: 1 - круг, 2 - уровень связки круга, 3 - режущие зерна, 4 - цилиндрические оболочки снимаемого припуска, 5 - обрабатываемая деталь.

В расчетной схеме (на фиг. 1) снимаемый припуск представлен пакетом цилиндрических оболочек, полный срез которых вследствие различных углов входа в рабочую поверхность круга происходит на различном уровне высоты рельефа круга. Максимальную глубину внедрения в рабочую поверхность круга имеет периферийная оболочка, угол входа которой наибольший. Следовательно, периферийная оболочка определяет максимальную толщину среза, нагрузку, действующую на зерно, и, соответственно, максимально возможную производительность шлифования. Уровень производительности, шлифования определяется произведением скорости детали $V_{дет}$ глубины шлифования t , которые взаимосвязаны между собой зависимостью, разрешая которую относительно скорости вращения детали, имеем

$$V_{дет} = \frac{m V_{кр} H_{макс}}{600 \pi \bar{x}^3 \sqrt{2 S_g t \rho}}, \quad (1)$$

где m - объемная концентрация зерен, %,

\bar{x} - зернистость круга, м,

$V_{кр}$ - скорость круга, м/с,

t - глубина шлифования, м,

S - долевая продольная подача, $S_g = 1$,

$H_{макс}$ - максимальная толщина среза, м,

$$\rho = \frac{1}{R_{дет}} + \frac{1}{R_{кр}}; R_{дет} \text{ и}$$

$R_{кр}$ - соответственно радиусы детали и круга, м.

Исходя из приведенной зависимости (1), уменьшением глубины шлифования t скорость детали $V_{дет}$ возрастает. Это обусловлено тем, что с уменьшением t уменьшается угол входа периферийной оболочки в рабочую поверхность круга и создаются более

благоприятные условия резанию. Такая закономерность может быть использована для интенсификации шлифования, для чего после врезания на полную глубину детали необходимо сообщить дополнительные колебательные движения по линии, соединяющей центры круга и детали в диаметральной плоскости, с заданными значениями частоты и амплитуды колебаний, обусловленными высотой микронеровностей обрабатываемой поверхности. В этом случае срез периферийной оболочки происходит с переменной глубиной шлифования, меньшей начальной t , что согласно зависимости (1) обеспечивает увеличение средней скорости детали в пределах периода колебаний и повышение производительности шлифования.

Для реализации такого способа шлифования необходимо непрерывно измерять текущую глубину шлифования и скорость детали $V_{дет}$ изменять в процессе обработки в соответствии с зависимостью, полученной из (1) после несложных преобразований

$$V_{дет} = V_{дет0} \left(\frac{t}{t_r} \right)^{0,5}, \quad (2)$$

$$\text{где } V_{дет0} = \frac{m V_{кр} H_{макс}}{600 \pi \cdot \bar{x}^3 \sqrt{2 S_g \cdot t \cdot \rho}};$$

t_r - текущая глубина шлифования, м; $S_g = 1$.

Тогда средняя скорость детали в пределах периода колебаний определяется из выражения

$$V_{дет} = \frac{l}{T}, \quad (3)$$

где l - длина перемещения точки, расположенной на поверхности детали, за период колебаний, м;

T - период колебаний детали, с.

Представляя t_r в виде $t_r = V_0 \tau$, где V_0 - скорость движения детали по линии, соединяющей центры круга и детали в диаметральной плоскости;

τ - время обработки,

параметр l может быть установлен следующим образом

$$l = 2 \int_{t_1}^{t_2} V_{дет} d\tau = 4 V_{дет0} t_1^{0,5} \cdot \frac{1}{V_0^{0,5}} (t_2^{0,5} - t_1^{0,5}). \quad (4)$$

Граничные значения t_1 и t_2 равны:

$$t_1 = \frac{t}{V_0}, \quad t_2 = \frac{t}{V_0},$$

где t_1 - минимальное значение глубины шлифования.

Тогда l выражается

$$l = \frac{4V_{дет.ср} \cdot t^{0.5}}{V_0} (t^{0.5} - t_1^{0.5}) = \frac{4V_{дет.ср} t^{0.5} (t - t_1)}{V_0 (t^{0.5} + t_1^{0.5})} \quad (5)$$

$$V_{дет.ср} = \frac{2 \cdot V_{дет.ср} \cdot t^{0.5}}{(t^{0.5} + t_1^{0.5})} = \frac{2 \cdot V_{дет.ср}}{(1 + (\frac{t_1}{t})^{0.5})} \quad (7)$$

Исходя из приведенного выражения, чем меньше соотношение (t_1/t) , тем выше $V_{дет.ср}$. Приведенные в табл. 1 значения множителя $\frac{1}{[1 + (t_1/t)^{0.5}]}$

указывают на возможность повышения $V_{дет.ср}$ и соответственно производительности обработки при заданном значении глубины шлифования в 1,52-1,82 раз, выбирая амплитуду колебаний $A = t - t_1$ из условия $t/t_1 = 20-100$.

Такое условие обусловлено изменением глубины шлифования в пределах $(0,5-1,0) \cdot 10^{-3}$ м, т.е. применительно к условиям глубинного шлифования. Дальнейшее уменьшение отношения t_1/t неэффективно, так как в этом случае значительная часть цилиндрических оболочек, которыми условно представлен снимаемый припуск, не будет срезана вследствие того, что $t_1 < H_{макс}$.

Таким образом показано, что сообщение детали дополнительных колебательных движений по линии, соединяющей центры круга и детали в диаметральной сечении, с одновременным управлением скоростью детали в соответствии с зависимостью (2) позволяет интенсифицировать процесс шлифования. При этом эффект достигается без увеличения износа круга, т.е. в процессе шлифования за счет переменности $V_{дет}$ непрерывно поддерживается постоянная максимальная толщина среза $H_{макс}$, определяющая предельную нагрузку, действующую на зерно, и его износ.

Приведенная зависимость (2) получена для случая, когда точка контакта периферийной оболочки припус-

Средняя скорость детали с учетом зависимости (3) определяется

$$V_{дет.ср} = \frac{4V_{дет.ср} \cdot t^{0.5} \cdot (t - t_1)}{V_0 \cdot T \cdot (t^{0.5} + t_1^{0.5})} \quad (6)$$

В приведенной зависимости величина $(t-t_1)$ определяет амплитуду колебаний, следовательно

$$V_0 \cdot T = 2(t - t_1).$$

Тогда

ка с наружной поверхностью круга остается неподвижной. В действительности при радиальных колебательных движениях детали точка контакта непрерывно перемещается вдоль наружной поверхности круга из положения А в положение В и соответственно по оси X (фиг. 2) Это приводит к дополнительному изменению скорости вращения детали, обусловленному кривизной наружной поверхности круга. Очевидно, что при движении детали вниз с постоянной радиальной скоростью

$$Y = V_0 = \frac{2(t - t_1)}{2\pi} \cdot \omega,$$

где ω - частота колебаний, 1/с, скорость вращения детали должна возрастать, а при движении детали вверх наоборот, уменьшаться по аналогичному закону. Средняя скорость вращения детали в пределах одного периода колебаний при этом остается неизменной, равной $V_{дет.ср}$, определяемой зависимостью (7). Для определения дополнительной составляющей $V_{дет}$, обусловленной кривизной наружной поверхности круга, т.е. составляющей по оси X, воспользуемся уравнением окружности, представленным в виде

$$X^2 + Y^2 = R_{кр}^2 \quad (8)$$

или в преобразованном виде

$$X = \sqrt{R_{кр}^2 - Y^2} \quad (9)$$

Дифференцируя выражение (9) по времени, получаем

$$\dot{x} = \frac{d}{dt} (\sqrt{R_{кр}^2 - Y^2} = \frac{G}{\delta y} (\sqrt{R_{кр}^2 - Y^2}) \frac{G_y}{\delta r} = \frac{-Y}{\sqrt{R_{кр}^2 - Y^2}} \dot{Y} \quad (10)$$

С учетом $Y = -(R_{кр} - t_r)$ и $\dot{Y} = V_0$ имеем

$$\dot{x} = V_0 \cdot \sqrt{\frac{R_{кр}}{2tT}} \quad (11)$$

Таким образом, с уменьшением t_r скорость \dot{x} возрастает, что соответствует росту \dot{x} при движении детали вниз и снижению \dot{x} при движении детали вверх.

Принимая за начало отсчета точку $Y = -(R_{кр} - t)$, скорость \dot{x} , обус-

$$V_{дет} = V_{дет0} \left(\frac{t}{t_r}\right)^{0,5} \pm V_0 \cdot \left(\frac{R_{кр}}{2tT} - \frac{R_{кр}}{2t}\right) \quad (13)$$

Знак "+" соответствует случаю, когда деталь движется вниз, а знак "-", когда деталь движется вверх (принимая во внимание, что круг расположен сверху, а деталь - снизу).

Для определения частоты колебаний, обусловленной высотой микронеровностей обработанной поверхности, рассмотрим расчетную схему, приведенную на фиг. 3. За период колебаний T фиксированная точка на поверхности детали перемещается на величину l , тогда высота гребешка микронеровностей $R_{макс}$ определится

$$R_{макс} = R_{кр} - C = R_{кр} - \sqrt{R_{кр}^2 - \frac{l^2}{4}} \quad (14)$$

Разрешая (14) относительно длины l имеем

$$l = 2 \cdot \sqrt{2 \cdot R_{макс} \cdot R_{кр}} \quad (15)$$

Частота колебаний ω определится

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (16)$$

$$\text{где } T = \frac{l}{V_{дет.ср}} = \frac{2 \cdot \sqrt{2 \cdot R_{макс} \cdot R_{кр}}}{V_{дет.ср}}$$

С учетом соответствующих преобразований ω окончательно выражается

$$\omega = \frac{1,42 \cdot \pi \cdot V_{дет0}}{\sqrt{R_{макс} \cdot R_{кр}} \cdot \left[1 + \left(\frac{t_r}{t}\right)^{0,5}\right]} \quad (17)$$

Скорость V_0 , входящая во все зависимости, при этом определяется

ловленная кривизной наружной поверхности круга, определяется

$$\dot{x} = V_0 \left(\sqrt{\frac{R_{кр}}{2tT}} - \sqrt{\frac{R_{кр}}{2t}} \right) \quad (12)$$

Из приведенной зависимости следует, что в точке $Y = -(R_{кр} - t)$ скорость \dot{x} равна нулю, а с уменьшением t_r - возрастает.

С учетом составляющей \dot{x} скорость вращения детали $V_{дет}$, описываемая зависимостью (2), выражается

$$V_0 = \frac{2(t - t_1)}{T} = \frac{\omega \cdot (t - t_1)}{\pi} \quad (18)$$

Максимальная толщина среза $H_{макс}$ может быть представлена следующим образом

$$H_{макс} = H_{макс0} \frac{P}{P_0} \cdot \frac{(G)_0}{(G)} \quad (19)$$

где $H_{макс0}$, P_0 ,

$(G)_0$ - базовые значения соответственно максимальной толщины среза, m , прочности режущего зерна H , прочности обрабатываемого материала, H/m^2 .

P , (G) - текущие значения соответственно прочности режущего зерна, H , прочности обрабатываемого материала, H/m^2 .

Принимая в качестве базового обрабатываемого материала твердый сплав ВК8, а в качестве базовой прочности режущего зерна - 10 Н, расчетно-экспериментальным методом установлено значение $H_{макс0}$ равной $12 \cdot 10^{-6}$ м.

При таком методе определения параметра $H_{макс}$ достаточно знать справочные значения P и (G) различных марок СТМ и обрабатываемых материалов

На фиг. 4 представлена блок-схема устройства для реализации предлагаемого способа. Круглошлифовальный станок 6 оснащен датчиком 7 активного контроля перемещений круга 1, датчиком 8 активного контроля диа-

метра обрабатываемой детали 5, датчиком 9 активного контроля перемещений детали 5, а также содержит привод 10 вращения детали, привод 11 вращения круга, привод 12 поперечной подачи, блок 13 управления приводом поперечной подачи, усилительные блоки 14-17, вибратор 18, привод 19 вибратора, блок 20 управления приводом вибратора, блок 21 вычисления скорости вращения детали и частоты колебаний, блок 22 управления приводом вращения детали и генератор 23 униполярных импульсов.

Шлифование выполняется следующим образом. Шлифовальный круг 1 после правки подводят до касания с вращающейся деталью 5 и производят врезание с переменной скоростью поперечной подачи, изменяющейся в соответствии с зависимостью $S = 0,30 - 0,1 \cdot 10^{-3} t_r$, регулируемой блоком 13 управления приводом поперечной подачи. Датчиком 7 измеряют величину перемещения круга, соответствующую глубине шлифования, и сигнал подают в блок 16, затем в блок 13. При достижении заданной глубины шлифования привод 12 отключается, и сигнал с датчика 7 через блок 17 подается в блок 20. Одновременно датчиком 8 измеряют диаметр детали 5 и сигнал подают в блок 14, затем в блок 21. В блоке 21 вычисляется частота колебаний, и сигнал подается в блок 20. В результате включается вибратор 18, и детали 5 через привод 19 сообщаются колебательные движения с установленными частотой и амплитудой. Датчиком 9 непрерывно измеряют перемещения детали, соответствующие значению текущей глубины шлифования t_r , и сигнал через блок 15 подается в блок 21, где вычисляется скорость вращения детали. Сигнал с блока 21 через блок 22 подается на привод 10 и детали сообщается вращательное движение с переменной скоростью вращения, изменяющейся в соответствии с зависимостью (13).

После одного оборота детали с момента начала врезания производят отключение вибратора и переключение скорости вращения детали на выхаживание.

Для поддержания высокой режущей способности круга предлагается ис-

пользовать непрерывную электроэрозионную правку. Для этого круг на токопроводящей связке изолируют от шпинделя станка. Выход генератора униполярных импульсов положительным полюсом присоединяют к детали. При указанной полярности происходит электроэрозионный процесс удаления связки круга и обновление выступающих зерен.

П р и м е р. Производится обработка цилиндрической детали диаметром 0,1 м из ВК8 кругом 1А1 300*25 АС6 160/125 - 100% - МВ1. Скорость круга 40 м/с, требуемая шероховатость обработанной поверхности $R_{\max} = 10 \cdot 10^{-6}$ м. Глубина шлифования t принимается равной величине снимаемого припуска $t = 1 \cdot 10^{-3}$ м.

Тогда принимая $\frac{t}{t_r} = 50$, значение t_r равно: $t_r = 20 \cdot 10^{-6}$ м. Скорость вращения детали $V_{\text{дет}}$ с учетом $m = 100$, $V_{\text{кр}} = 40$ м/с, $x = 140 \cdot 10^{-6}$ м, $H_{\max} = 12 \cdot 10^{-6}$ м, $t = 1 \cdot 10^{-3}$ м, $R_{\text{кр}} = 0,15$ м, $R_{\text{дет}} = 0,05$ м, $\rho = 26,7 \frac{1}{\text{м}}$ определяется

$$V_{\text{дето}} = \frac{m \cdot V_{\text{кр}} \cdot H_{\max}}{600 \cdot \pi \cdot x^2 \cdot \sqrt{2t\rho}} = 0,35 \text{ м/мин}$$

Частота колебаний ω в соответствии с зависимостью (17) равна

$$\omega = 43,5 \frac{1}{\text{с}}$$

Соответственно период колебаний T и скорость V_0 равны

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 0,144 \text{ с},$$

$$V_0 = \frac{\omega (t - t_r)}{\pi} = 0,014 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Изменение скорости $V_{\text{дет}}$ в зависимости от текущей глубины шлифования t_r при движении детали вниз, т.е. при знаке "+" в выражении (13) показано в табл. 2.

При движении детали вверх закономерность изменения противоположна.

Средняя скорость вращения детали $V_{\text{детср}}$, определяемая зависимостью (7), равна

$$V_{\text{детср}} = 0,011 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 0,63 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Как видим, средняя скорость $V_{\text{детср}}$ превышает скорость $V_{\text{дето}}$ в 1,76 раз, что соответствует повышению произ-

водительности шлифования во столько же раз.

Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Способ глубинного шлифования цилиндрической детали, при котором кругу и детали сообщают вращательные движения и осуществляют врезание на полную глубину шлифования с переменной поперечной подачей, изменяющейся в соответствии с зависимостью

$$S_n = 0,30 - 0,1 \cdot 10^{-5} \cdot t, \quad t, \text{ м/мин,}$$

отличающийся тем, что, с целью повышения производительности обработки при заданной интенсивности износа круга из синтетических сверхтвердых материалов путем периодического изменения глубины шлифова-

$$V_{\text{дет}} = V_{\text{дет0}} \left(\frac{t}{t_1} \right)^{0,5}$$

$$\text{где } V_{\text{дет0}} = \frac{m \cdot V_{\text{кр}} \cdot H^3_{\text{макс}}}{600 \pi \cdot \bar{x}^3 \cdot \sqrt{2t \rho}}$$

- m - объемная концентрация зерен, %;
- \bar{x} - зернистость круга, м;
- $V_{\text{кр}}$ - скорость круга, м/с,
- t - глубина шлифования, м;
- $H_{\text{макс}}$ - максимальная толщина среза, м;

$$\rho = \frac{1}{R_{\text{дет}}} + \frac{1}{R_{\text{кр}}}$$

ния, детали после врезания на полную глубину шлифования дополнительно сообщают колебательные движения по линии, соединяющей центры круга и детали в диаметральном сечении, с частотой, установленной в соответствии с зависимостью:

$$\omega = \frac{0,35 \cdot \pi \cdot V_{\text{дет0}}}{\sqrt{R_{\text{макс}} \cdot R_{\text{кр}}}} \left(1 + \left(\frac{t}{t_1} \right)^{0,5} \right)^{0,5}$$

и амплитудой, выбранной из условия

$$\frac{t}{t_1} = 20 - 100,$$

и непрерывно измеряют текущую глубину шлифования, а обработку производят с переменной скоростью вращения детали, изменяющейся в соответствии с зависимостью

$$\pm V_0 \left(\sqrt{\frac{R_{\text{кр}}}{2t_1}} - \sqrt{\frac{R_{\text{кр}}}{2t}} \right),$$

- 25) $R_{\text{дет}}, R_{\text{кр}}$ - соответственно радиусы детали и круга, м;
- $R_{\text{макс}}$ - максимальная высота микронеровностей обработанной поверхности, м;
- 30) t_1 - минимальное значение глубины шлифования, м;
- t_1 - текущее значение глубины шлифования, м;

- 35) $V_0 = \frac{\omega(t - t_1)}{\pi}$ - скорость движения детали по линии, соединяющей центры круга и детали в диаметальной плоскости, м/с.

Т а б л и ц а 1

t_1/t	1,0	0,5	0,25	0,1	0,05	0,01
$\frac{2}{(1+(t/t_1)^{0,5})}$	1,0	1,18	1,34	1,52	1,64	1,82
t/t_1	1,0	2,0	4,0	1,0	20	100

Т а б л и ц а 2

$t_1 \cdot 10^{-6}, \text{ м}$	1000	500	300	100	50	20
$V_{\text{дет}}, \text{ м/с}$	0,006	0,057	0,11	0,28	0,44	0,76

