



Государственный комитет  
СССР  
по делам изобретений  
и открытий

# О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(11) 891356

(61) Дополнительное к авт. свид-ву -

(22) Заявлено 06.12.79 (21) 2847286/25-08

с присоединением заявки № -

(23) Приоритет -

Опубликовано 23.12.81. Бюллетень № 47

Дата опубликования описания 26.12.81

(51) М. Кл.<sup>3</sup>

В 24 В 11/02

(53) УДК 621.

.923.5  
(088.8)

(72) Авторы  
изобретения

И. П. Филонов и В. В. Бабук

(71) Заявитель

Белорусский ордена Трудового Красного Знамени  
политехнический институт

## (54) СПОСОБ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ОБРАБОТКИ ШАРИКОВ

Изобретение относится к абразивной обработке и может быть использовано в шарикоподшипниковой промышленности.

Известен способ обработки шариков, при котором шарикам, расположенным в полости между двумя вращающимися рабочими инструментами, выполненными в виде дисков, сообщают вращение, воздействуя на них средой под давлением, направленной тангенциально поверхностям рабочих инструментов, ограничивающих полость по периферии.

Такой способ обработки увеличивает подвижность шариков относительно рабочей поверхности инструмента [1].

Однако способ не обеспечивает шарикам вращения вокруг оси, совпадающей с вектором скорости центра. За один оборот шарика вокруг оси инструмента не обеспечивается контактирование всей его обрабатываемой поверхности с рабочей поверхностью инструмента. Качество обработанной поверхности и производительность такого способа не удовлетво-

ряют требованию современного производства.

Наиболее близким к изобретению по технической сущности и достигаемому результату является способ обработки шариков, при котором давление воздействующей на шарики среды периодически изменяют от минимального до максимального значений по синусоидальному закону с периодом, равным времени оборота шарика вокруг оси рабочих инструментов [2].

Недостатком известного способа является низкое качество обрабатываемой поверхности шариков, вызванное тем, что периодическое изменение давления приводит к изменению только величины вектора скорости центра, направление же движения шариков остается постоянным, т.е. гарантированного изменения положения опорных точек на обрабатываемой поверхности не происходит. Вращение шариков вокруг оси, совпадающей с вектором скорости центра, происходит под

действием случайных факторов, траектория центра шарика лежит в одной плоскости.

Цель изобретения - улучшение качества обработанной поверхности.

Поставленная цель достигается тем, что инструмент с торовой рабочей поверхностью вращают относительно оси, перпендикулярной оси симметрии его внутренней торовой рабочей поверхности.

На фиг. 1 представлена схема, поясняющая движение шариков вдоль рабочей поверхности инструмента; на фиг. 2 - разрез А-А на фиг. 1; на фиг. 3 - разрез Б-Б на фиг. 1.

Шарики 1 (фиг. 1) вращаются со скоростью  $\omega_r$  под действием струи среды, под давлением исходящей из тангенциальных сопел (на показаны) так, что вектор угловой скорости  $\bar{\omega}_r$  совпадает с осью симметрии внутренней торовой рабочей поверхности инструмента 2. Инструмент 2 вращают при этом с угловой скоростью  $\omega_e$  вокруг оси, перпендикулярной оси симметрии его внутренней торовой рабочей поверхности. В данном случае ось вращения инструмента 2 лежит в плоскости чертежа и вертикальна (фиг. 1 и 2) так, что векторы  $\bar{\omega}_r$  и  $\bar{\omega}_e$  перпендикулярны.

Таким образом, обрабатываемые шарики 1 участвуют в двух вращательных движениях - относительно рабочей поверхности инструмента и вместе с ней. При равномерном относительном и переносном вращениях центры шариков 1 имеют ускорение

$$\bar{W} = \bar{W}_e^n + \bar{W}_r^n + \bar{W}_k \quad (1)$$

где

$$\bar{W}_e^n = \omega_e^2 OC \cdot \sin \alpha \quad \text{- нормальное ускорение в переносном движении.}$$

Вектор  $\bar{W}_e^n$  направлен к центру переносного вращения, т.е. перпендикулярно оси вращения инструмента. Максимальное значение ускорения  $\bar{W}_e^n$  будет при  $\alpha = 90^\circ, 270^\circ, 450^\circ$  и т.д.; минимальное - при  $\alpha = 0^\circ, 180^\circ, 360^\circ$  и т.д., т.е.

$$W_e^n(\max) = \omega_e^2 (R-r), \quad (2)$$

где  $R$  - наибольший радиус внутренней рабочей поверхности инструмента;

$r$  - радиус обрабатываемых шариков.

Нормальное ускорение в относительном движении определяется из выражения

$$W_r^n = \omega_r^2 (R-r) = \text{Const} \quad (3)$$

Ускорение Кориолиса  $\bar{W}_k = 2\bar{\omega}_e \times \bar{V}_r$  модуль его  $W_k = 2\omega_e V_r \sin(\bar{\omega}_e \wedge \bar{V}_r)$  В нашем случае вектор  $\bar{\omega}_e$  лежит в плоскости чертежа (фиг. 1 и 2). Вектор скорости центра шарика в отдельном движении  $\bar{V}_r$  также лежит в плоскости чертежа и меняет свое направление в зависимости от значения угла  $\alpha$ . Таким образом, вектор  $\bar{W}_k$  всегда перпендикулярен плоскости чертежа и направлен от нас для шарика, занимающего положение  $C_1$  (фиг. 1), и к нам - для шарика, занимающего положение  $C_3$

Максимальное значение вектора  $\bar{W}_k$  будет при  $\sin(\bar{\omega}_e \wedge \bar{V}_r) = 1$ , когда  $\bar{\omega}_e \perp \bar{V}_r$ , т.е. при  $\alpha = 0^\circ, 180^\circ, 360^\circ$  и т.д.; минимальное - при  $\sin(\bar{\omega}_e \wedge \bar{V}_r) = 0$  когда  $\bar{\omega}_e \parallel \bar{V}_r$ , т.е. при  $\alpha = 90^\circ, 270^\circ, 450^\circ$  и т.д.

Таким образом,  $0 \leq W_k \leq 2\omega_e \omega_r (R-r)$

$$W_k(\max) = 2\omega_e \omega_r (R-r). \quad (4)$$

Таким образом, максимальное значение ускорения Кориолиса будет при наличии минимального (равного нулю) нормального ускорения в переносном движении шарика и наоборот.

Подставив выражения (2) - (4) в уравнение (1) находим максимальные значения полного ускорения за время полного оборота шарика вокруг оси инструмента. При  $\alpha = 0^\circ$  и  $\alpha = 180^\circ$

$$\sqrt{(W_r^n)^2 + (W_k^{\max})^2} = W_{C1} = W_{C3}; \quad (5)$$

$$\cos \beta_1 = \cos \beta_3 = \cos \beta = W_r^n / W_{C1}. \quad (6)$$

$$\text{При } \alpha = 90^\circ \text{ и } \alpha = 270^\circ \\ W_{C2} = W_{Cr} = W_r^n + W_e^n(\max) = \\ = (\omega_e^2 + \omega_r^2)(R-r) \quad (7)$$

Подставляя в выражения (5) и (6) значения соответствующих величин из уравнений (3) и (4), получаем

$$W_{C1} = W_{C3} = \omega_r (R-r) \sqrt{\omega_r^2 + 4\omega_e^2}, \quad (8)$$

$$\cos \beta_1 = \cos \beta_3 = \cos \beta = \frac{\omega_r}{\sqrt{\omega_r^2 + 4\omega_e^2}}. \quad (9)$$

Для удобства количественного сравнения известного способа с предложенным положим  $\omega_e = \omega_r = \omega$ , тогда известный

способ обеспечивает максимальное ускорение

$$W_{\max} = W_r^n = \omega^2(R-r) = \text{const}, \quad (10)$$

так как в известном способе  $\omega_e = 0$  и поэтому  $\omega_k = \omega_e^n = 0$  (формулы 2 и 4).

Из уравнения (7) видно, что предлагаемый способ обеспечивает в двух противоположных положениях шарика следующую величину ускорения:

$$W_{C2} = W_{C4} = 2\omega^2(R-r) = 2W_{\max} \quad (11)$$

Из уравнения (8) видно, что предлагаемый способ в двух других противоположных положениях шарика обеспечивает

$$W_{C1} = W_{C3} = \sqrt{5}\omega^2(R-r) \approx 2,2W_{\max} \quad (12)$$

Согласно второму закону Ньютона сила  $F = -mW$ , где  $m$  — масса шарика. Таким образом, известный способ обеспечивает постоянную по величине силу инерции, расположенную в плоскости вращения центров шариков, равную (уравнение 10)

$$F_{\max} = mW_{\max} = m\omega^2(R-r) = \text{const} \quad (13)$$

Предлагаемый способ обеспечивает переменные силы по модулю и направлению. Причем максимальное значение сил, действующих на обрабатываемые шарики, больше, чем в известном способе. Так, согласно второму закону Ньютона, из уравнений (11) и (12) находим

$$F_{C2} = F_{C4} = 2F_{\max} \quad (14)$$

$$F_{C1} = F_{C3} \approx 2,2F_{\max} \quad (15)$$

В связи с тем, что сила  $\bar{F}_k$  действует в направлении, перпендикулярном плоскости, в которой расположены векторы  $\bar{\omega}_e$  и  $\bar{v}_r$ , а центробежные силы инерции в относительном движении  $\bar{F}_{C1}^r$  и  $\bar{F}_{C3}^r$  лежат в плоскости чертежа (фиг. 1 и 2), суммарные силы определяются из выражений

$$\bar{F}_{C1} = \bar{F}_{C1}^r + \bar{F}_{C1}^k \quad (16)$$

$$\bar{F}_{C3} = \bar{F}_{C3}^r + \bar{F}_{C3}^k \quad (17)$$

Силы инерции  $\bar{F}_{C1}$  и  $\bar{F}_{C3}$  направлены под углом  $\beta$  к оси вращения инструмента (фиг. 2), что приводит к обкатыванию шарика по рабочей поверхности инструмента к продольному сечению. Это способствует гарантированному изменению положения опорных точек на обрабатываемой поверхности.

При дальнейшем движении шарика по рабочей поверхности в поперечном сечении (фиг. 1), при  $\alpha = 90^\circ$   $F_k = 0$ , а сила

инерции  $F_{C2}$  равна арифметической сумме сил  $F_{C2}^r$  и  $F_{C2}^e$ . Шарик в этом положении находится в диаметральной плоскости торовой рабочей поверхности инструмента (фиг. 3).

При  $\alpha = 180^\circ$   $F_e^n = 0$  сила Кориолиса имеет максимальное значение, однако направлена она в сторону, противоположную по сравнению с положением шарика при  $\alpha = 0$ . Шарик при этом откатывается по рабочей поверхности инструмента в продольном сечении (фиг. 2) в противоположном направлении, отклоняясь на тот же угол  $\beta$ .

При  $\alpha = 270^\circ$   $F_k = 0$ , а  $F_{C4} = F_{C4}^r + F_{C4}^e$ . Диаметральной плоскостью шарика при этом совпадает с диаметральной плоскостью торовой поверхности инструмента. При  $\alpha = 360^\circ$  периодичность действия сил инерции повторяется. Как видно из формулы (9), угол  $\beta$ , характеризующий отклонение шарика от круговой траектории (искривление его траектории), не зависит от размеров инструмента и диаметра обрабатываемых шариков.

При условии  $\omega_e = \omega_r = \omega$  из уравнения (9) имеем

$$\cos \beta = \frac{1}{\sqrt{5}} = \text{const} \quad (18)$$

Из уравнения (18) видно, что угол наклона векторов сил  $\bar{F}_{C1}$  и  $\bar{F}_{C3}$  не зависит от кинематических характеристик способа, размеров инструмента и диаметра обрабатываемых шариков. Величина угла  $\beta$  составляет около  $60^\circ$ . Таким образом, легко добиться поворота шариков под действием силы  $F_k$ , обеспечивающего расположение опорных точек по всей обрабатываемой поверхности шарика за один оборот его вокруг оси инструмента, путем изменения скорости вращения последнего.

Радиус внутренней рабочей поверхности инструмента в продольном сечении (фиг. 2 и 3) выбирается из условия возможности поворота обрабатываемого шарика радиуса  $r$  под действием силы Кориолиса на угол не менее  $180^\circ$  в одну сторону. Поэтому длина полуокружности рабочей поверхности инструмента должна быть равна  $2\sqrt{5}r$ , а радиус  $R \geq 2r$ .

Таким образом, при обработке шариков с сообщением им обкатывания под действием среды под давлением под внутренней тороидальной рабочей поверхности инструмента, вращающегося вокруг оси, перпендикулярной оси симметрии его рабочей поверхности, обеспечивается гарантированное соприкосновение всей обра-

тываемой поверхности с поверхностью инструмента за один оборот шарика относительно оси инструмента. Увеличение рабочего усилия по сравнению с известным способом, периодическое изменение его по модулю и направлению способствует равномерному нанесению следов инструмента на всю обрабатываемую поверхность шариков и улучшению качества обрабатываемой поверхности.

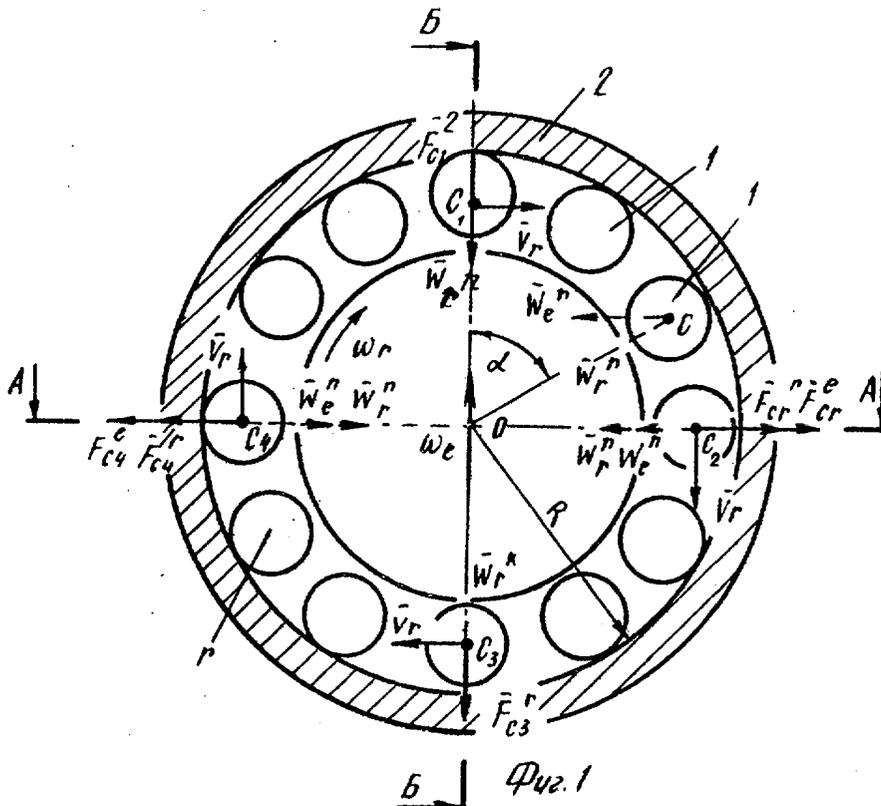
#### Формула изобретения

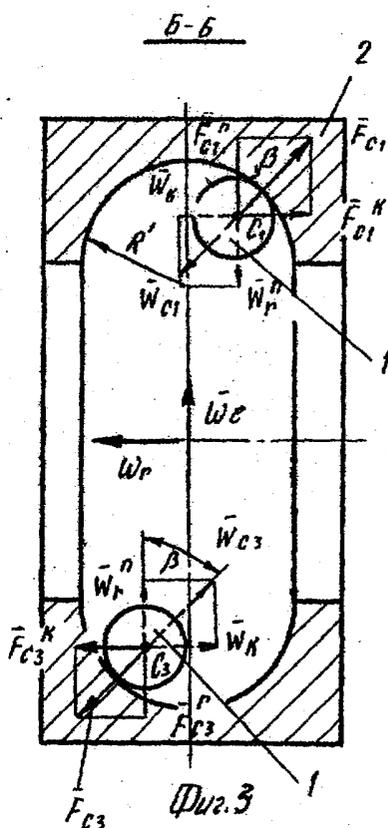
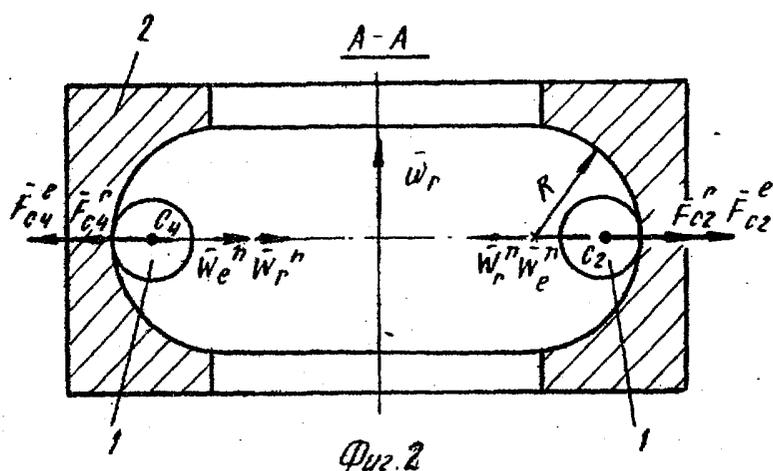
Способ центробежной обработки шариков при котором их обкатывают по внут-

ренней рабочей поверхности инструмента, воздействуя на них струей среды под давлением, отличающийся тем, что, с целью повышения качества обработки, обработку производят инструментом с торовой рабочей поверхностью, которому сообщают вращение относительно оси, перпендикулярной оси симметрии его рабочей поверхности.

Источники информации, принятые во внимание при экспертизе

1. Патент США № 2734317, кл. 51-73, опублик. 1953.
2. Авторское свидетельство СССР № 656811, кл. В 24 В 11/02, 1976.





Составитель А. Козлова

Редактор Г. Кацалап Техред З. Фанга Корректор Л. Шенью

Заказ 11097/18

Тираж 918

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР

по делам изобретений и открытий

113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Филиал ППП "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4