

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ШАРИКОВ НОВЫМИ СПОСОБАМИ

Постоянно растущие требования к качеству обработанной поверхности и производительности процесса изготовления тел качения подшипников поставили задачу разработки принципиально новых методов, обеспечивающих снижение металлоемкости шарикообрабатывающего оборудования, уменьшение энергозатрат и интенсификацию процесса обработки. В этом плане перспективными являются способы обработки шариков во взвешенном состоянии торцевой поверхностью шлифовального круга, которые можно классифицировать по характеру движения шариков в рабочей зоне (рис. 1).

Разработанные способы и устройства с использованием свойств среды под давлением позволяют не только значительно упростить конструкции станков для обработки шариков, снизить их металлоемкость и повысить культуру производства, но и обеспечить принципиально новую схему формообразования сферической поверхности при вращении шариков вокруг их центра масс, что очень важно при использовании их в высокоскоростных устройствах. Предлагаемая схема формообразования сферической поверхности обеспечивает нанесение следов инструмента при отсутствии жесткого силового замыкания с рабочими поверхностями и некотором отличии в соотношении скоростей вращения и резания по сравнению с традиционными методами.

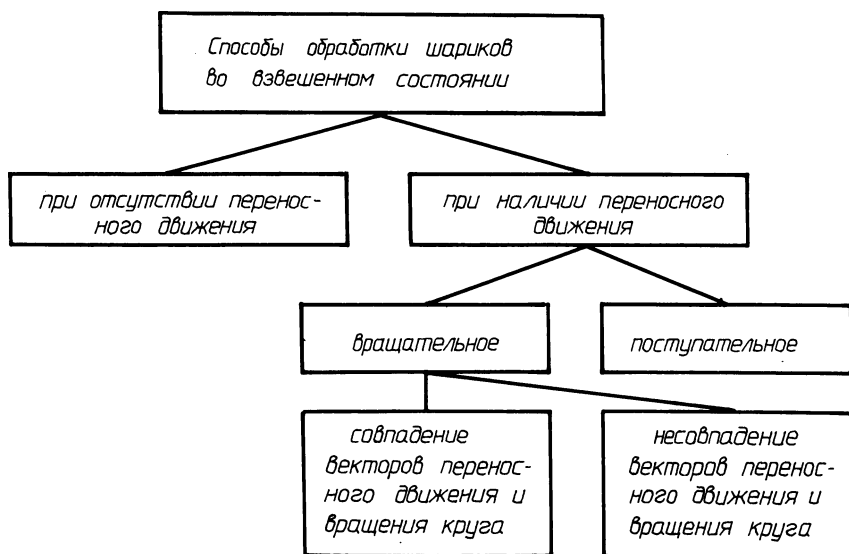


Рис. 1. Классификация способов обработки шариков во взвешенном состоянии

В процессе обработки шариков 2 (рис. 2), уложенных в отдельных вращающихся втулках 1 и поджатых к шлифовальному кругу 3 с кольцевыми канавками средой под давлением, они вращаются вокруг оси, наклоненной к горизонту под углом α , равным:

$$\alpha = \text{arctg } D/l,$$

где D — диаметр расположения шариков; l — расстояние от центра шарика до мгновенной оси вращения OO_1 шарика.

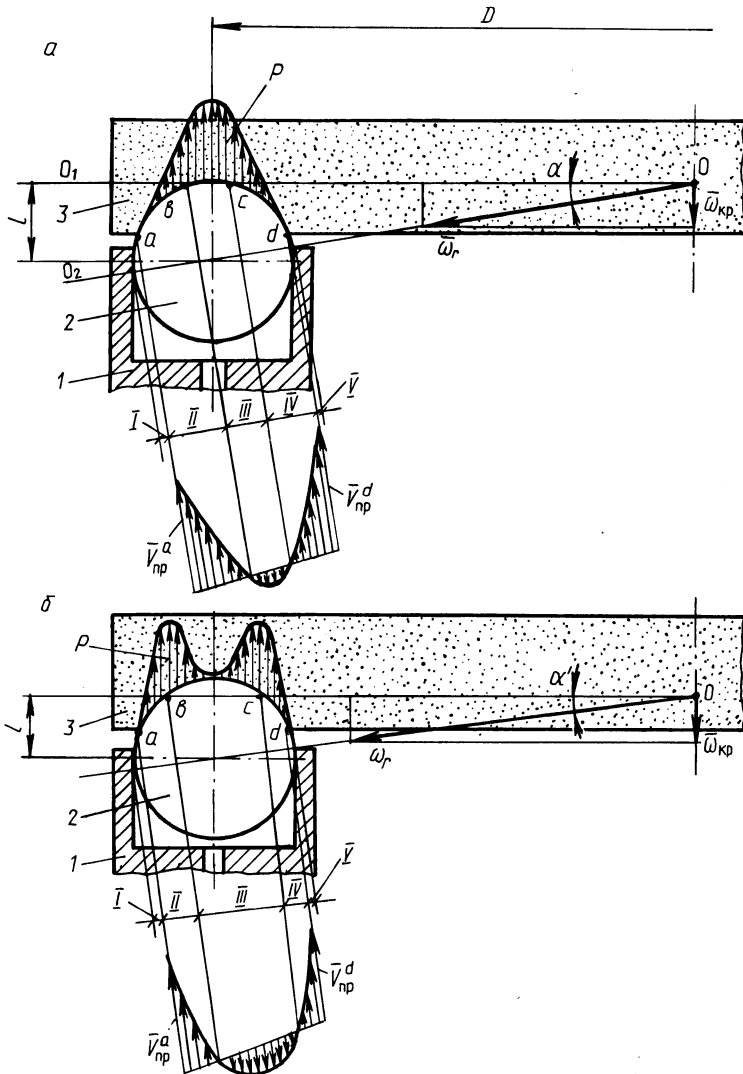


Рис. 2. Распределение скоростей проскальзывания и давления в зоне контакта шарика со шлифовальным кругом

Положение мгновенной оси вращения шарика OO_1 относительно инструмента зависит от размеров площадки контакта, распределения давления P в зоне контакта, состояния поверхностей шарика и канавки круга, а также наличия СОЖ в зоне обработки и др. В начале обработки максимальное значение давления приходится на дно канавки (рис. 2, а). По мере износа дна канавки давление будет перераспределяться и положение мгновенной оси вращения шарика изменится (рис. 2, б), а следовательно, изменяется и величина скорости вращения шарика ω_r , которая будет равна

$$\omega_r = \omega_{кр} / \sin \alpha,$$

где $\omega_{кр}$ — угловая скорость вращения круга.

В процессе обработки положение мгновенной оси вращения шарика будет постоянно меняться, то занимая положение ближе к касательной к поверхности шарика, то углубляясь в его тело.

Съем припуска с обрабатываемой поверхности происходит за счет наличия проскальзывания ее относительно шлифовального круга. Распределение скоростей проскальзывания по дуге ad представлено на рис. 2, а, б. Оно аналогично процессу обработки шариков между двумя дисками в кольцевых канавках [3]. Как видно из рисунков, скорости проскальзывания в точках a и d , т.е. $V_{пр}^a$ и $V_{пр}^d$, не равны между собой.

Ось вращения шарика OO_2 в процессе обработки занимает стабильное положение, лишь незначительно покачиваясь в пределах изменения угла α , и на поверхности шарика образуются участки с различной интенсивностью съема припуска. Так участки I и V практически не подлежат обработке, а участок III имеет низкую интенсивность съема припуска. Для равномерного съема припуска со всей поверхности шарика и улучшения условий формообразования его сферической поверхности необходимо постоянно изменять положение оси вращения шарика в пространстве, например, за счет дополнительного вращения вокруг вертикальной оси, вращением втулки 1 (см. рис. 2). Для этого необходимо изменять соотношение сил трения в зонах контакта шарика с кругом и втулкой, что в условиях массового производства трудно реализовать. Повысить качество обработки можно также за счет переориентации шарика при отсутствии контакта его с кругом. Это условие может быть обеспечено периодической подачей среды под давлением во внутреннюю полость втулки и разворотом шарика вращающейся втулкой или же струей среды под давлением в момент начала ее ввода через наклонные или несоосные сопла.

Угловая скорость шарика ω_r достигает значительных величин (например, при вращении круга с линейной скоростью в точках контакта его с шариками в 35...50 м/с ω_r принимает значения, равные 2800...3800 с⁻¹ для шарика диаметром в один дюйм) и при торможении шарика возникает инерционный момент $M_{ин}$, равный

$$M_{ин} = I \cdot \epsilon,$$

где I — момент инерции шара относительно оси симметрии; ϵ — угловое ускорение шара.

Инерционный момент $M_{ин}$ уравновешивается моментом сил трения $M_{тр}$ шарика о дно втулки

$$M_{\text{тр}} = G f_{\text{пр}} d/2,$$

где G — вес шара; $f_{\text{пр}}$ — приведенный коэффициент трения скольжения шара о втулку.

До полной остановки шарика необходимо выдержать промежуток времени, исчисляемый секундами и даже десятками секунд, что снижает производительность процесса. Уменьшить же нерабочее время, т.е. время торможения, можно, увеличив момент трения $M_{\text{тр}}$ (например, за счет создания кратковременного разряжения во внутренней полости втулки). Однако это усложнит конструкцию станка, реализующего данный способ обработки.

Таким образом, при обработке шариков во взвешенном состоянии при неподвижном их центре практически трудно обеспечить постоянное изменение положения оси вращения шариков в рабочей зоне.

Этого недостатка лишен способ обработки шариков при их вращении вместе с втулками 1 (рис. 3) вокруг оси круга 2 со скоростью ω_e . В этом случае собственная ось вращения шарика ω_r поворачивается в пространстве вместе с шариком, причем в численном значении $\omega_r = (\omega_{\text{кр}} \pm \omega_e) \sin \alpha$. При этом возникает гироскопический момент M_r

$$M_r = I \omega_r \omega_e \sin \theta, \quad (1)$$

где θ — угол между векторами $\bar{\omega}_r$ и $\bar{\omega}_e$.

Гироскопический момент стремится развернуть шарик вокруг оси $\bar{\tau}$, касательной к траектории центра. Для разворота шарика вокруг оси $\bar{\tau}$ необходимо, чтобы гироскопический момент превысил суммарный момент сил трения в зонах контакта с кругом и втулкой. При использовании в качестве рабочей среды сжатого воздуха и без учета его аэродинамического сопротивления требуется выполнение условия

$$M_r > M_{\text{тр}}^{\Sigma} = N_f f_{\text{пр}}^f d/2 + \sqrt{(N_f f_{\text{пр}}^f)^2 + P_{\text{ц}}^2} f'_{\text{пр}} d/2, \quad (2)$$

где N_f — нормальная сила в зоне контакта шарика с кругом; $f_{\text{пр}}^f$ — приведенный коэффициент трения шарика о круг; $f'_{\text{пр}}$ — приведенный коэффициент трения скольжения шара о втулку; $P_{\text{ц}}$ — центробежная сила.

$$P_{\text{ц}} = \frac{G \omega_e^2}{g} \frac{D}{2}, \quad (3)$$

где g — ускорение свободного падения.

Таким образом, подбором марки шлифовального круга, глубины канавки, скорости вращения круга и втулки вместе с шариками вокруг оси инструмента при минимальной силе прижима шариков к шлифовальному кругу можно добиться гарантированного проворота шариков вокруг оси $\bar{\tau}$. Поэтому данный способ может быть реализован в случаях, когда может быть обеспечено условие, выраженное уравнением (2).

Кроме этого, целесообразно обеспечить постоянное изменение направления оси абсолютного вращения шарика, а следовательно, и качественное формообразование его сферической поверхности за счет изменения направления силового воздействия шлифовального круга на шарик. Это осуществляется, например, в способе обработки шариков при наличии вращательного перенос-

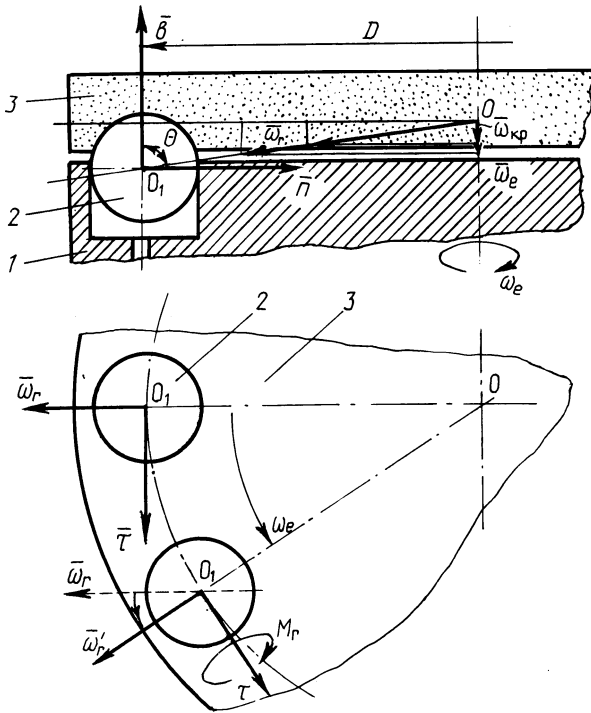


Рис. 3. Способ обработки шариков при вращении их вокруг оси инструментов

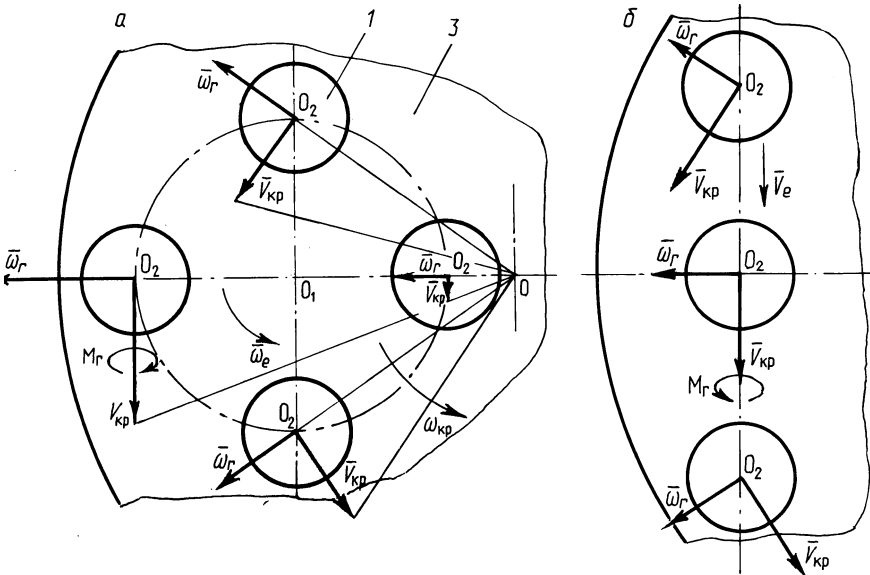


Рис. 4. Способы обработки шариков при наличии их переносного движения, не совпадающего с вектором вращения круга

ного движения, вектор которого параллелен вектору угловой скорости шлифовального круга (рис. 4, а), и в способе с перемещением шариков по прямолинейным траекториям (рис. 4, б). Кроме того, в обоих способах осуществляется дополнительное верчение шариков вокруг осей, направленных по касательным к траекториям движения шариков за счет гироскопического момента.

Проскальзывание поверхности шарика относительно шлифовального круга, а следовательно, и процесс резания осуществляются за счет инерционного момента, который стремится сохранить прежнее направление оси вращения шарика, а силы трения (резания) в зоне контакта его со шлифовальным кругом будут стремиться придать шарикау новое направление оси вращения. Поэтому происходит постоянное изменение соотношения этих моментов, в результате чего интенсивность съема припуска периодически изменяется. Частота этого изменения зависит от скорости вращения шлифовального круга $\omega_{кр}$, которая влияет на инерционный момент, и от скорости вращения шариков ω_e по круговой траектории или от линейной скорости движения шариков V_e при прямолинейной траектории их движения.

УДК 621.822.71.002:65.011.56

И.П.ФИЛОНОВ, канд. техн. наук (БПИ),
Л.А.ОЛЕНДЕР, канд. техн. наук (МРТИ),
А.Х.БУКЕНГОЛЬЦ (БПИ)

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ОБРАБОТКИ ШАРИКОВ

В настоящее время создание новых моделей станков для обработки шариков повышенной жесткости и точности, инструментов высокой стойкости привело к тому, что в роли доминирующих факторов, порождающих погрешности обработки, оказались случайные факторы и в первую очередь колебание припуска и твердости материала шариков, изменение глубины резания и температуры, затупление режущего инструмента. В отличие от традиционных способов обработки деталей особенностью процесса элеваторной обработки шариков, применяемого практически на всех заводах подшипниковой промышленности, является непостоянство количества шариков, находящихся в рабочей зоне под прижимным диском, что также приводит к колебаниям как силовой нагрузки, действующей на один шарик, так и температуры в зоне резания.

Одним из путей совершенствования процесса обработки шариков является адаптивное управление, основанное, как правило, на существующих корреляционных связях между такими показателями качества шариков, как разноразмерность, овальность, гранность, волнистость поверхности, и технологическими параметрами при их обработке (давление прижима, частота вращения диска, глубина рабочих дорожек).