

Влияние колебаний оборудования на кинематику шариков при доводке сборным инструментом

к.т.н. К. Г. Щетникович // БНТУ, г. Минск (Беларусь)

Формирование требуемых точностных параметров шариков и их эксплуатационных свойств в значительной степени осуществляют на операции доводки [1 и 2]. При традиционном способе доводки стальных шариков (между двумя чугунными дисками в кольцевых канавках) обработка происходит в условиях трения качения при дифференциальном проскальзывании шариков относительно рабочих поверхностей инструмента. Доводку выполняют при высоком давлении инструмента на шарики. Наряду с техническими трудностями, возникающими при использовании оборудования с очень большими значениями нагрузок, силовое взаимодействие шарика с рабочими поверхностями дисков создает неблагоприятное распределение остаточных напряжений в объеме детали [3].

Длительная доводка стальных шаров в режиме качения приводит к передеформированию, повышению хрупкости и усталостному разрушению поверхностного слоя. Опасность такого механизма съема металла (как подчеркивается в литературе [4]) состоит в том, что процесс периодического передеформирования и повышения хрупкости, начинающийся на финишной обработке, продолжается затем при эксплуатации. Формированию на поверхности шара дефектной зоны способствуют также высокие удельные нагрузки в области контакта с доводочными дисками [5]. Увеличение интенсивности обработки и высокое качество поверхностного слоя шариков могут быть достигнуты, если доводку осуществлять в условиях трения скольжения при быстром изменении положения мгновенной оси вращения шарика относительно оси вращения инструмента.

Сборный инструмент для доводки шариков [6], в котором на верхнем неподвижном диске устанавливают концентрические кольца, обеспечивает скольжение шариков в процессе обработки по одной из рабочих поверхностей. Данная работа посвящена анализу кинематики шариков при доводке сборным инструментом и теоретическому исследованию влияния колебаний оборудования на положение мгновенной оси вращения шарика.

Конструкция инструмента и кинематика шариков при доминирующей нагрузке на кольца

Сборный инструмент для доводки шариков имеет верхний прижимной диск 9 (рис. 1) на торцевой поверхности которого прорезаны концентрические пазы 8 и угловые проточки 6. В пазах с зазором установлены кольца 7, имеющие на нижней торцевой поверхности конические фаски 3. На дне концентрических пазов закреплены упругие элементы 5, находящиеся в контакте с верхней торцевой поверхностью колец. Свойства и размеры упругих элементов выбирают в соответствии с необходимым давлением на шарики в процессе доводки. Болты 11, вставленные в отверстия 10, препятствуют вращению колец и удерживают их в концентрических пазах при подъеме верхнего прижимного диска. Обрабатываемые шарики 4 размещают на кольцевых выемках 2 нижнего диска 1.

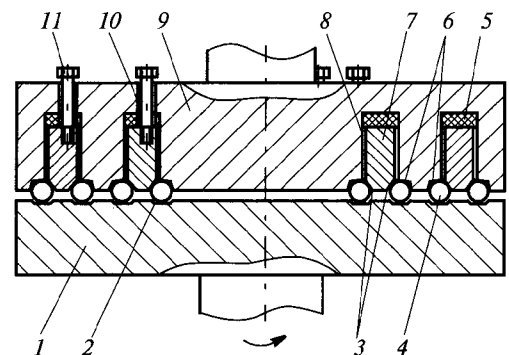


Рис. 1. Сборный инструмент для доводки шариков

Нагрузка на шарики — это сумма осевой нагрузки, прикладываемой к верхнему прижимному диску, и нагрузки на неподвижные кольца, создаваемой с помощью упругих элементов. Осевую нагрузку на шарики регулируют независимо от выбранной нагрузки на кольца. После включения привода вращения нижнего диска шарики перемещаются вдоль кольцевых дорожек, находясь в контакте с четырьмя поверхностями: горизонтальной поверхностью кольцевой выемки на нижнем диске; боковой и торцевой поверхностями кольцевой проточки на верхнем диске и по-

верхностью конической фаски на кольце. Каждое кольцо, базирующееся непосредственно на обрабатываемых шариках по двум базовым поверхностям, в процессе доводки самоустанавливается соосно верхнему диску и параллельно нижнему диску. Шарик контактирует с инструментом по четырем (несимметрично расположенным относительно его центра) точкам, поэтому неизбежно скольжение в одной из них. Независимая регулировка осевой нагрузки от нагрузки на кольца расширяет технологические возможности управления процессом доводки. Инструмент может быть использован также для элеваторной доводки шариков.

При малых нагрузках на прижимной диск, кинематика шариков (рис. 2) может быть рассмотрена из условия отсутствия проскальзывания в наиболее нагруженных точках A , B и K контакта с инструментом. Мгновенная ось абсолютного вращения шарика проходит через точки B и K контакта шарика с кольцом и неподвижным диском, составляя с горизонталью угол β , равный:

$$\beta = \frac{\alpha - \xi}{2}, \quad (1)$$

где α — угол конической фаски на кольце, ξ — угол наклона боковой поверхности кольцевой проточки на прижимном диске.

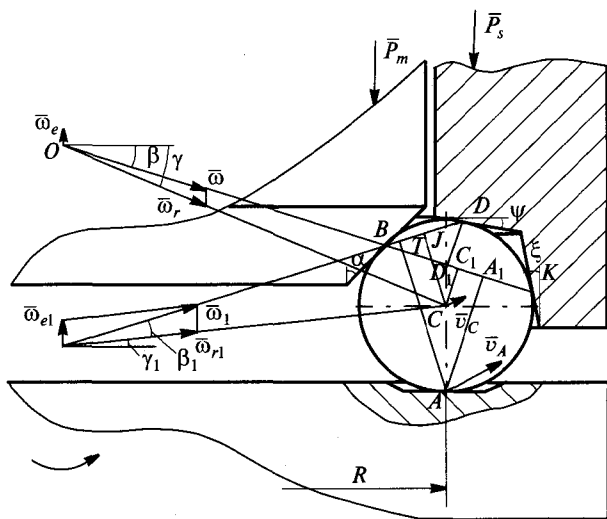


Рис. 2. Кинематика шарика в зоне обработки

Для нахождения угловой скорости шарика определяют вначале расстояние AA_1 от точки A на приводном диске до мгновенной оси абсолютного вращения:

$$AA_1 = r[\sin(\beta + \xi) + \cos\beta],$$

где r — радиус шарика.

Угловая скорость ω абсолютного вращения шарика равна:

$$\omega = \frac{v_A}{AA_1} = \frac{\omega_d R}{r[\sin(\beta + \xi) + \cos\beta]}, \quad (2)$$

где ω_d и v_A — соответственно угловая скорость и линейная скорость нижнего диска в точке A .

Угол γ наклона мгновенной оси относительного вращения шарика находят, сравнивая проекции отрезков OC и OK на вертикальную ось вращения инструмента:

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{(R + r\cos\xi)\operatorname{tg}\beta + r\sin\xi}{R}. \quad (3)$$

Угловую скорость ω_r относительного вращения шарика определяют из равенства проекций векторов $\bar{\omega}$ и $\bar{\omega}_r$ на горизонтальную линию:

$$\omega_r = \omega \cos\beta / \cos\gamma \quad (4)$$

Скорость v_c центра шарика определяют после определения расстояния CC_1 до мгновенной оси абсолютного вращения шарика:

$$v_c = \omega CC_1 = \omega r \sin(\beta + \xi). \quad (5)$$

С другой стороны, скорость v_c центра шарика можно найти через переносную угловую скорость ω_e по формуле:

$$v_c = \omega_e R.$$

Окончательная формула для расчета угловой скорости ω_e переносного вращения шарика имеет вид:

$$\omega_e = \frac{\omega r \sin(\beta + \xi)}{R} = \frac{\omega_d \sin(\beta + \xi)}{\sin(\beta + \xi) + \cos\beta}. \quad (6)$$

Скорость скольжения шарика относительно торцевой поверхности кольцевой проточки на неподвижном кольце зависит от расстояния точки D до мгновенной оси вращения:

$$v_{sD} = \omega DD_1 = \omega r [\cos(\beta - \psi) - \sin(\beta + \xi)], \quad (7)$$

где ψ — угол наклона торцевой поверхности кольцевой проточки на прижимном диске.

Скорость скольжения более чем в 2,5 раза превышает максимальную скорость дифференциального проскальзывания шариков при длине дуги контакта с инструментом, равной $0,3d$, где d — диаметр шарика. Это позволяет доводить шарики при меньших контактных нагрузках с дисками.

Динамика шариков в зоне обработки. В точках контакта с инструментом (рис. 3) на шарик действуют силы N_A , N_B , N_D и N_K нормального давления, вызванные нагрузкой на прижимной диск и кольца, а также ка-

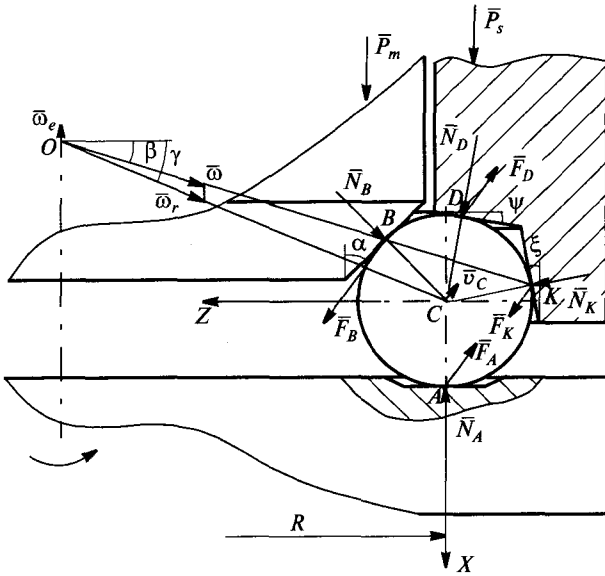


Рис 3. Силы, действующие на шарик при доводке

сательные силы F_A , F_B , F_D и F_K сцепления и трения, вызванные вращением нижнего диска.

Каждое из колец давит конической поверхностью на шарик с силой N_B , равной:

$$N_B = \frac{P_m}{\sin \alpha},$$

где P_m — нагрузка на один шарик, создаваемая кольцом; α — угол конической фаски на кольце.

Нормальное давление шарика на нижний диск зависит от суммарной нагрузки N_A на верхний диск и кольца:

$$N_A = P_s + P_m + mg,$$

где P_s — нагрузка на один шарик, создаваемая верхним диском; m — масса шарика.

Перемещение шарика по кольцевой дорожке происходит под действием движущей силы сцепления с нижним диском F_A , и сил сцепления с кольцом F_B и прижимным диском F_K . При доминирующей нагрузке на кольца на шарик действует также сила F_D трения скольжения о торцовую поверхность кольцевой проточки прижимного диска.

Для определения неизвестных сил сцепления и давления необходимо составить уравнения движения шарика в рабочей зоне. Учитывая, что сила трения скольжения шарика по торцовой поверхности прижимного диска намного превышает силы трения качения, последние не учитывали при составлении уравнений движения шарика. Дифференциальные уравнения относительного движения шарика [3] запишем в сис-

теме координат XYZ , проходящих через его центр, проектируя действующие силы на соответствующие оси:

$$\left. \begin{aligned} m \frac{dv_{CX}}{dt} &= -N_A + N_B \sin \alpha + N_D \cos \psi + N_K \sin \xi + mg = 0, \\ m \frac{dv_{CY}}{dt} &= -F_A + F_B - F_D + F_K = 0, \\ m \frac{dv_{CZ}}{dt} &= -N_B \cos \alpha + N_D \sin \psi + N_K \cos \xi = 0, \\ I \frac{d\omega_r X}{dt} &= -F_B r \cos \alpha - F_D r \sin \psi + F_K r \cos \xi = 0, \\ I \frac{d\omega_r Y}{dt} &= 0, \\ I \frac{d\omega_r Z}{dt} &= -F_A r - F_B r \sin \alpha + F_D r \cos \psi - F_K r \sin \xi = 0. \end{aligned} \right\} (8)$$

где I — момент инерции шарика; v_C — скорость перемещения центра шарика.

Первые три уравнения отображают движение центра масс шарика при установившемся перемещении, а последующие уравнения — вращение шарика вокруг его центра. При нагрузках на кольца, превышающих нагрузку на прижимной диск, шарик скользит по наименее нагруженной торцовой поверхности кольцевой проточки. Положение мгновенной оси вращения и другие кинематические характеристики шарика могут быть определены по формулам (1–7).

Нормальное давление шарика на торцовую и боковую поверхности кольцевой проточки найдем из первого и третьего уравнения системы (8) дифференциальных уравнений:

$$N_D = \frac{-P_m \cos \alpha \sin \xi + P_s \sin \alpha \cos \xi}{\sin \alpha \cos(\psi + \xi)},$$

$$N_K = \frac{P_m \cos \alpha \cos \psi - P_s \sin \alpha \sin \psi}{\sin \alpha \cos(\psi + \xi)}.$$

Тогда сила трения скольжения шарика о торцовую поверхность кольцевой проточки прижимного диска составит:

$$F_D = f_s N_D = f_s \frac{P_s \sin \alpha \cos \xi - P_m \cos \alpha \sin \xi}{\sin \alpha \cos(\psi + \xi)},$$

где f_s — коэффициент трения скольжения шарика о материал прижимного диска.

Из четвертого уравнения системы (8) выразим силу F_K трения сцепления шарика с боковой поверхностью проточки на прижимном диске через силы F_B и F_D

$$F_K = \frac{F_B \cos \alpha + F_D \sin \psi}{\cos \xi}. \quad (9)$$

Подставив уравнение (9) во второе уравнение системы (8) получим:

$$-F_A \cos \xi + F_B (\cos \alpha + \cos \xi) - F_D (1 - \sin \psi) = 0. \quad (10)$$

Вычитая из уравнения (10) последнее уравнение системы (8), находим значение силы F_B сцепления шарика с конической фаской приводного кольца:

$$F_B = \frac{f_s [1 + \cos \psi \cos \xi - (1 + \operatorname{tg} \xi) \sin \psi] \times [(1 + \operatorname{tg} \xi) \cos \alpha + (1 + \sin \alpha) \cos \xi] \times (P_s \sin \alpha \cos \xi - P_m \cos \alpha \sin \xi)}{\times \sin \alpha \cos (\psi + \xi)}. \quad (11)$$

Используя значение силы F_B , найдем силу F_K из выражения (9)

$$F_K = \frac{F_B \cos \alpha}{\cos \xi} + \frac{f_s P_s \sin \alpha \sin \psi \cos \xi - f_s P_m \cos \alpha \sin \psi \sin \xi}{\sin \alpha \cos \xi \cos (\psi + \xi)}. \quad (12)$$

Силу F_A сцепления шарика с нижним диском определим из второго уравнения системы (8), используя выражения (11) и (12):

$$F_A = F_B \left(1 + \frac{\cos \alpha}{\cos \xi}\right) - \frac{f_s P_s \sin \alpha \cos \xi - f_s P_m \cos \alpha \sin \xi}{\sin \alpha \cos (\psi + \xi)}. \quad (13)$$

Сила трения скольжения шарика о торцовую поверхность кольцевой проточки прижимного диска, направленная в сторону, противоположную его вращению, значительно увеличивает величину сил сцепления по другим поверхностям контакта с инструментом. По мере увеличения нагрузки на неподвижное кольцо, силы сцепления шарика с инструментом в точках A , B и K , как следует из выражений (11–13), возрастают, но их максимальная величина ограничена значением сил трения скольжения. Скольжение шарика начнется в той точке, где сила сцепления первой достигнет значения силы трения скольжения при данной силе нормального давления.

Анализ условий скольжения шарика в зоне обработки при повышенной осевой нагрузке. Сравнивая отношения сил сцепления к соответствующим силам нормального давления находим, что в точке A это отношение намного меньше, чем в точках B и K , поэтому и скольжение шариков при высокой осевой нагрузке наблюдали в одной из этих точек. Расчеты показывают, что при угле $\psi > 0^\circ$ шарик скользит по прижимному диску в точке K , так как:

$$\frac{F_K}{N_K} > \frac{F_B}{N_B}.$$

При появлении скольжения шарика по боковой поверхности проточки изменяются условия его тре-

ния по торцовой поверхности проточки: трение скольжения в точке D переходит в трение качения. Величина силы трения скольжения в точке K составляет:

$$F_K = f_s \frac{P_m \cos \alpha \cos \psi - P_s \sin \alpha \sin \psi}{\sin \alpha \cos (\psi + \xi)}.$$

Подставляя полученное выражение силы трения скольжения в формулу (12) определим величину переходной осевой нагрузки, достаточную для скольжения шарика в точке K при известной нагрузке на кольцо:

$$P_{sl} = \frac{P_m}{\operatorname{tg} \alpha \cos \xi} \frac{Q \sin \alpha \cos \alpha \cos (\psi + \xi) + S \cos (\psi - \xi)}{Q \sin \alpha \cos \alpha \cos (\psi + \xi) + 2 S \sin \psi}, \quad (14)$$

где $Q = 1 + \cos \psi \cos \xi - (1 + \operatorname{tg} \xi) \sin \psi$;

$$S = [(1 + \operatorname{tg} \xi) \cos \alpha + (1 + \sin \alpha) \cos \xi] \sin \alpha \cos (\psi + \xi).$$

Расчет осевой нагрузки по формуле (14) показывает, что увеличение угла ψ сопровождается значительным снижением осевой нагрузки, необходимой для скольжения шарика в точке K . Например, при геометрических параметрах инструмента $\alpha = 55^\circ$, $\xi = 10^\circ$ и $\psi = 10^\circ$ переходная нагрузка составляет $P_{sl} = 1,01 P_m$, а при $\psi = 15^\circ$ нагрузка снижается до величины $P_{sl} = 0,84 P_m$.

Ось абсолютного вращения шарика при скольжении в точке K пройдет через точку B на кольце и точку D на прижимном диске (см. рис. 2) и составит с горизонталью угол β_1 , равный:

$$\beta_1 = \frac{\pi}{4} - \frac{\alpha}{2} - \frac{\psi}{2}. \quad (15)$$

Угловая скорость абсолютного вращения шарика равна:

$$\omega_1 = \frac{v_A}{AT} = \frac{\omega_d R}{r [\cos \beta_1 + \cos (\beta_1 + \psi)]}. \quad (16)$$

Угол γ_1 наклона мгновенной оси относительного вращения шарика связан с углом наклона мгновенной оси абсолютного вращения следующей зависимостью:

$$\operatorname{tg} \gamma_1 = \frac{(R + r \sin \psi) \operatorname{tg} \beta_1 - r \cos \psi}{R}. \quad (17)$$

Угловую скорость относительного вращения шарика определим из равенства проекций векторов $\bar{\omega}_1$ и $\bar{\omega}_{r1}$ на горизонтальную линию:

$$\omega_{r1} = \frac{\omega_1 \cos \beta_1}{\cos \gamma_1}. \quad (18)$$

Скорость v_c центра шарика найдем по расстоянию CJ до мгновенной оси абсолютного вращения шарика:

$$v_c = \omega_1 CJ = \omega_1 r \cos (\beta_1 + \psi). \quad (19)$$

Переносная угловая скорость шарика составит:

$$\omega_{e1} = \frac{v_c}{R} = \frac{\omega_d \cos(\beta_1 + \psi)}{\cos\beta_1 + \cos(\beta_1 + \psi)}. \quad (20)$$

Формулы (15—20) позволяют определить кинематические характеристики движения шарика при нагрузке на верхний диск, превышающей величину переходной осевой нагрузки.

Влияние колебаний узлов станка на положение мгновенной оси вращения шарика. При работе станков для доводки шариков возникают низкочастотные колебания, связанные с работой привода, неуравновешенностью быстро вращающихся деталей станка, погрешностями шариков и рабочих поверхностей инструмента. Например, прижимная система одностоечного доводочного станка мод. ВШ-204 колеблется в вертикальной плоскости с частотой $f = 8,34$ Гц и амплитудой $A_{os} = 7,5$ мкм [7].

Колебания узлов станка вызывают постоянные изменения нагрузки на шарики относительно установленных при настройке станка значений. Если максимальная величина периодически изменяющейся осевой нагрузки превышает нагрузку, достаточную для скольжения шарика по боковой поверхности проточки, то периодически мгновенная ось вращения шарика отклоняется от исходного положения. Эти изменения возникают, несмотря на то, что установленное значение осевой нагрузки ниже значения, требуемого для изменения положения оси вращения шарика.

Для оценки влияния периодического изменения нагрузки в зоне обработки на движение шарика предположим, что нагрузка на кольца постоянна, а осевая нагрузка (рис. 4) из-за колебаний прижимной системы станка изменяется по периодическому закону: $P_s = P_{es} + P_{os} \cos(2\pi/T)t$, где P_{es} — установленное при настройке станка значение осевой нагрузки, P_{os} — амплитуда изменений осевой нагрузки; T — период колебаний; t — время.

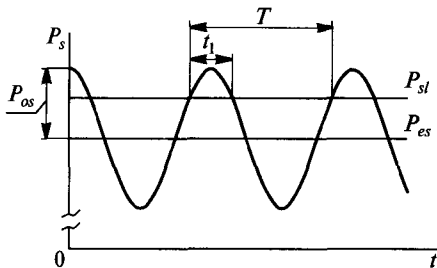


Рис. 4. К определению угловой скорости переносного вращения шарика

Моменты времени, когда осевая нагрузка достигает величины переходной нагрузки P_{sl} , найдем из уравнения:

$$P_{es} + P_{os} \cos \frac{2\pi}{T} t = P_{sl},$$

откуда

$$t = \frac{\pm \arccos \frac{P_{sl} - P_{es}}{P_{os}} + 2\pi n}{2\pi} T,$$

где $n = 0, 1, 2, \dots$

Время t_1 , в течение которого за период колебаний T осевая нагрузка P_s превышает переходную нагрузку P_{sl} , равно промежутку времени между двумя последовательными моментами времени равенства осевой и переходной нагрузок:

$$t_1 = \frac{T}{\pi} \arccos \frac{P_{sl} - P_{es}}{P_{os}}.$$

В течение времени t_1 мгновенная ось вращения шарика проходит через точки B и D (см. рис. 3), а шарик вращается вокруг оси инструмента со скоростью ω_{e1} . В оставшуюся часть периода колебаний $T - t_1$ мгновенная ось вращения шарика проходит через точки B и K (см. рис. 3), а шарик вращается вокруг оси инструмента со скоростью ω_e . Средняя угловая скорость ω'_e переносного вращения шарика составляет:

$$\begin{aligned} \omega'_e &= \frac{\omega_{e1} t_1 + \omega_e (T - t_1)}{T} = \\ &= \omega_e + \frac{1}{\pi} (\omega_{e1} - \omega_e) \arccos \frac{P_{sl} - P_{es}}{P_{os}}. \end{aligned} \quad (21)$$

Подставляя в выражение (21) значения угловых скоростей переносного вращения шарика из выражений (6 и 20) получим:

$$\begin{aligned} \omega'_e &= \frac{\omega_d \sin(\beta + \xi)}{\sin(\beta + \xi) + \cos\beta} + \frac{1}{\pi} \left[\frac{\omega_d \cos(\beta_1 + \psi)}{\cos\beta_1 + \cos(\beta_1 + \psi)} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{\omega_d \sin(\beta + \xi)}{\sin(\beta + \xi) + \cos\beta} \right] \arccos \frac{P_{sl} - P_{es}}{P_{os}}. \end{aligned} \quad (22)$$

Анализ выражений (21) и (22) показывает, что угловая скорость переносного вращения шарика при постоянной частоте вращения нижнего диска зависит от разности установленного значения осевой нагрузки и величины переходной нагрузки, а также амплитуды изменений осевой нагрузки. Если $|P_{es} - P_{sl}| \geq P_{os}$, то изменения осевой нагрузки не влияют на величину переносной угловой скорости шарика, которая остается постоянной по величине: $\omega'_e = \omega_e$ при $P_{es} < P_{sl}$ или $\omega'_e = \omega_{e1}$ при $P_{es} > P_{sl}$. Изменения переносной уг-

ловой скорости шарика начинаются, когда различие между установленной осевой нагрузкой и переходной нагрузкой составляет меньше амплитуды изменений осевой нагрузки, т. е.:

$$|P_{es} - P_{sl}| < P_{os}. \quad (23)$$

По мере увеличения осевой нагрузки, промежуток времени, в течение которого мгновенная ось вращения шарика отклоняется от исходного положения, возрастает, поэтому увеличивается также и переносная угловая скорость шарика. При $P_{es} = P_{sl}$, угловая скорость переносного вращения шарика составит:

$$\omega'_e = \frac{\omega_e + \omega_{e1}}{2}.$$

Представленная на рис. 5 (кривая 1) теоретическая полученная зависимость (22) построена при следующих значениях параметров: $\omega_d = 6,7 \text{ с}^{-1}$; $\alpha = 55^\circ$; $\xi = 10^\circ$; $\psi = 10^\circ$; $P_{sl} = 1,3 \text{ Н}$; $P_{os} = 0,6 P_{es}$. Экспериментальная зависимость (см. рис. 5, кривая 2) получена при следующих исходных данных: $\omega_d = 6,7 \text{ с}^{-1}$; $\alpha = 55^\circ$; $\xi = 10^\circ$; $\psi = 10^\circ$; $P_m = 1,3 \text{ Н}$. Изменения угловой скорости переносного вращения шарика начинаются при осевой нагрузке, меньшей расчетной, вследствие сильного влияния силы трения скольжения о торцовую поверхность кольцевой проточки на увеличение проскальзывания шарика относительно других рабочих поверхностей инструмента.

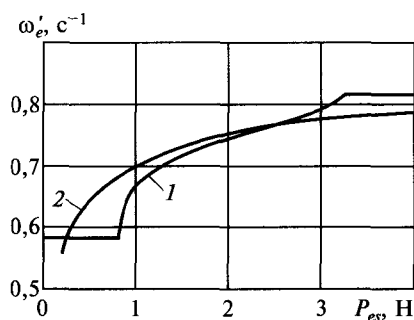


Рис. 5. Изменение угловой скорости ω'_e переносного вращения шариков в зависимости от осевой нагрузки P_{es} : 1 — теоретическая зависимость; 2 — экспериментальная зависимость

Увеличение угловой скорости переносного вращения шарика при росте осевой нагрузки вызвано изменением положения его мгновенной оси абсолютного вращения. При выполнении условия (23) мгновенная ось вращения шарика под влиянием колебаний в зоне обработки периодически изменяет свое положение с частотой этих колебаний. Для того чтобы небольшие колебания осевой нагрузки вызывали изменения положения мгновенной оси абсолютного вращения шарика, необходимо величину осевой нагрузки установ-

ливать близкой по значению к переходной нагрузке. В этом случае сила сцепления шарика с боковой поверхностью проточки близка к максимальному значению и небольшие девиации осевой нагрузки при обработке приводят к изменению угла наклона мгновенной оси вращения шарика. В процессе доводки необходимая величина осевой нагрузки может устанавливаться по результатам измерения переносной угловой скорости шариков. Осевая нагрузка, при росте которой наблюдается заметное увеличение скорости шариков, близка к требуемой.

Высокая скорость скольжения шариков относительно инструмента позволяет снизить рабочую нагрузку на шарики и повысить качество поверхностного слоя без уменьшения скорости съема припуска. Быстрые изменения положения мгновенной оси вращения шарика обеспечивают высокую точность сферической поверхности. Как показали экспериментальные исследования, применение сборного инструмента дает возможность с высокой точностью (отклонения от сферической формы составляли менее 1 мкм) осуществлять доводку шариков из металлокерамики, магнитотвердых спеченных материалов и минералов, обработка которых вызывает значительные технологические трудности.

Выводы

1. При доводке шариков сборным инструментом обработка происходит в условиях трения скольжения по одной из поверхностей инструмента. Тормозящее действие на шарик силы трения скольжения обуславливает значительное увеличение силы сцепления с инструментом по другим поверхностям.

2. Колебания узлов станка вызывают постоянные изменения нагрузки на шарики относительно установленных при настройке станка значений. Периодические изменения осевой нагрузки вызывают изменения условий контакта шарика с инструментом, при которых трение качения по одной из рабочих поверхностей переходит в трение скольжения. В эти моменты изменяется положение мгновенной оси абсолютного вращения шарика и сетка следов от контакта с инструментом смещается по поверхности шарика. Высокая скорость скольжения и быстрая переориентация шарика при движении по кольцевой дорожке обеспечивают повышение интенсивности обработки.

3. Применение сборного инструмента дает возможность с высокой точностью производить доводку на обычных шародавочных станках шариков из металлокерамики, магнитотвердых спеченных материалов и минералов, обработка которых вызывает значительные технологические трудности.

Список литературы

1. Олендер Л. А. Технология и оборудование шарикового производства. — Минск: Вышэйшая школа, 1974. — 336 с.
2. Олендер Л. А., Добрынин Ю. А. Совершенствование формообразования сферических поверхностей. — Минск: БелНИИНТИ, 1980. — 43 с.
3. Филонов И. П. Механика процессов обкатки. — Минск: Наука и техника, 1985. — 328 с.
4. Куранов В. Г., Виноградов А. Н., Бузов А. В. Оптимизация финишной обработки шаров прецизионных подшипников качения // Актуальные проблемы электронного приборостроения

и машиностроения: Сб. науч. статей. — Саратов: СГТУ, 2002. — С. 126—129.

5. Куранов В. Г., Виноградов А. Н. Явление «трибоцементации» в процессе финишной обработки шаров подшипников // Трение и смазка в машинах и механизмах. — 2007. — № 8. — С. 32—37.

6. Пат. 1250 Респ. Беларусь, МПК 7 В 24 В 11/02. Устройство для обработки шариков.

7. Малахов А. Ф., Шабанов Л. А. Исследование колебаний несущих систем одностоечных шародоводочных станков // Динамика, диагностика и надежность станочных систем: Сб. науч. трудов. — Куйбышев: КПИ, 1989. — С. 53—58.

Аналитический расчет режимов резания при алмазном глубинном шлифовании алюминиевых сплавов

к.т.н. А. Н. Сеничев, к.т.н. В. Н. Киселев, д.т.н. А. С. Ямников
// ТулГУ, г. Тула

Обработка глубоких пазов на заготовках из алюминиевых сплавов наиболее эффективна (с учетом выполнения требований по точности, производительности и шероховатости) при использовании алмазных отрезных кругов (АОК) на токопроводящей связке с поддержанием в процессе работы их режущей способности [1 и 2].

При аналитическом расчете режимов обработки главными в этом случае являются специфические особенности процесса глубинного алмазного шлифования, а именно: способность АОК разместить в межзерновом пространстве своей рабочей поверхности весь металл, снимаемый за один оборот АОК. Предполагается, что снятая на пути дуги контакта часть металла, оставшаяся на рабочей поверхности вследствие действия сил сцепления и инерции, будет на протяжении одного оборота удалена в результате электроэрозионной правки. Таким образом, можно предположить, что максимально допустимый объем снимаемого материала будет пропорционален объему межзернового пространства, определение которого позволяет назначить максимально допустимую подачу на один оборот круга, а, следовательно, при заданной скорости резания, и величину скорости подачи.

Задача вычисления объема свободного пространства между алмазными зернами на рабочей

поверхности АОК может быть решена при учете множества факторов, определяющих рельеф рабочей поверхности АОК. Однако ее решение, требующее построение математической модели рабочей поверхности АОК, возможно при следующих допущениях.

1. Алмазное зерно имеет форму шара, диаметр которого равен средневероятному размеру зерна, определяемому с учетом всех различных фракций алмазного порошка выбранной зернистости. Реальные зерна, находящиеся в алмазоносном слое АОК, имеют форму многогранников. Объем, занимаемый ими и определяемый концентрацией АОК, меньше, чем объем в том случае, если бы зерна имели форму шара.

2. Высота z выступания зерен из связки на рабочей поверхности АОК, правленного эрозионным методом (рис. 1), изменяется в пределах: $0 - A/2$,

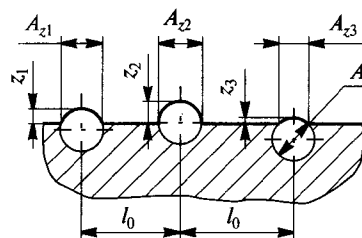


Рис. 1. Расчетная схема рабочей поверхности АОК