

УДК 679. 91 (06)

МОДЕЛЬ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ШАРОВ ИЗ ЯНТАРЯ НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ

Б.П. Борисов, Ю.Ф. Правдин, С.С. Михайлов

ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»,
Россия, 236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
E-mail: pravdin.yach@mail.ru

Представлена геометрическая модель рабочего клинового зазора специализированных шлифовальных станков, определены методы формообразования при обработке сферической янтарной поверхности, установлены необходимые движения станка, рассмотрены некоторые кинематические характеристики при перемещении заготовки в клиновом зазоре, варианты клиновых зазоров, установлено влияние пути резания на расчетную производительность шлифования шаров из янтаря.

рабочий клиновой зазор, геометрическая модель, янтарный шар, формообразование, кинематические характеристики, путь резания, расчетная производительность

Наиболее массовой, широко тиражируемой янтарной «деталью», входящей в состав множества ювелирных изделий (бусы, кольцо, подвески, броши и др.), является шар («буса») диаметром от 3 до 20 мм (иногда и более, но редко). Различают янтарные шары относительно неправильной формы («мятые») и шары с повышенной точностью сферической поверхности (высокоточные). Термин «высокоточный» применительно к янтарному шару является условным (это все же не шарик шарикоподшипника). Но если, например, для «мятого» шара диаметром 5 мм допуск на диаметр составляет 1...1,2 мм, то для «высокоточного» шара такого же диаметра – лишь 0,05...0,1 мм.

Суммарное годовое производство шаров в интервале диаметров 3... 15 мм варьирует от 1,2 до 1,5 млн. шт. Автоматизация их производства – задача весьма актуальная и вплоть до настоящего времени на должном уровне не решена.

Наиболее трудоемкой и экономически затратной является механическая обработка шаров «высокоточных». Однако они же являются наиболее востребованными из-за отличных художественно-эстетических достоинств шлифованной сферической поверхности после операции её полирования.

Получение достаточно точной сферической формы янтарных «калиброванных» шаров (в дальнейшем изложении просто шаров) осуществляется путем шлифования полуфабриката в виде «мятого» шара на специализированных шлифовальных станках. Как правило, это настольные станки с ручным приводом радиальной подачи $S_{\text{рад}}$ и ручным (или механизированным) приводом круговой подачи $S_{\text{кр}}$, так называемые «шарокрутки» [1]. Некоторое распространение получили станки-полуавтоматы, разработанные на янтарном комбинате и впоследствии модернизированные польской фирмой «Avalon» [2].

Ряд перспективных схем шлифования и соответствующих кинематических структур станков-автоматов были предложены авторами данной статьи [3-6].

Наибольший интерес, как теоретический, так и практический, представляют именно станки автоматизированные. Лишь с помощью таких станков можно, хотя бы частично, решить проблему обработки мелкокускового янтаря, нереализованные запасы которого на Янтарном комбинате достигли нескольких десятков тонн.

Следует отметить, что к настоящему времени ни одна из работающих или предложенных к реализации конструкций не обеспечивает всего комплекса требований для высокой эффективности обработки шаров из янтаря: точность сферы (разница диаметральных размеров) – не более (0,05... 0,1 мм); шероховатость поверхности R_a 1,2...1,5 мкм, производительность для станков с ручным управлением – 12...15 шт./мин и для станков-автоматов – 80...150 шт./мин и более; процент брака – не более 10... 15%; относительно низкая стоимость и др.

Совершенствованию конструкций станков, выбору их оптимальной кинематической структуры в значительной степени мешает отсутствие научного подхода к их систематизации, а также единых классификационных критериев.

Исследования авторов показали, что одним из таких базовых, обобщенных критериев, особенно для автоматизированных станков роторного типа, является геометрическая форма рабочего зазора, в котором, собственно, и формируется сферическая поверхность шара. Разработка геометрической модели формообразования янтарной сферы, выявление и назначение ее геометрических характеристик позволят еще на стадии конструкторской проработки прогнозировать технические и технологические параметры проектируемых установок.

При создании такой модели и описании исполнительных движений использована терминология, методические подходы и базовые представления каркасно-кинематической теории формообразования поверхностей на станках [7].

Несмотря на разнообразие, все рассматриваемые станки реализуют обработку заготовок в виде «мятого» шара в рабочей зоне, представляющей собой пространственный криволинейный зазор переменного сечения как в продольном, так и в поперечном направлениях. Назовем данный зазор клиновым рабочим зазором или просто рабочим зазором – рис. 1, 2.

Рабочий зазор образован поверхностью профильной канавки на абразивном круге 1 и опорной поверхностью 2 механизма подачи заготовки 3. Принудительное перемещение заготовки по рабочему зазору осуществляется, например, с помощью сепаратора 4, в гнездах которого заготовки и располагаются. Абразивный круг на рис. 1 показан некоторым элементарным объемом, вырезанным из тела круга.

Получаемая сферическая поверхность может быть представлена как след, оставляемый в пространстве при перемещении образующей производящей линии (половина окружности радиусом $r_{ш}$) по направляющей производящей линии (окружность радиусом $r_{ш}$) – см. рис 1.

Окончательно сформированная производящая линия является полной копией радиусного профиля канавки на абразивном круге, т. е. получена методом

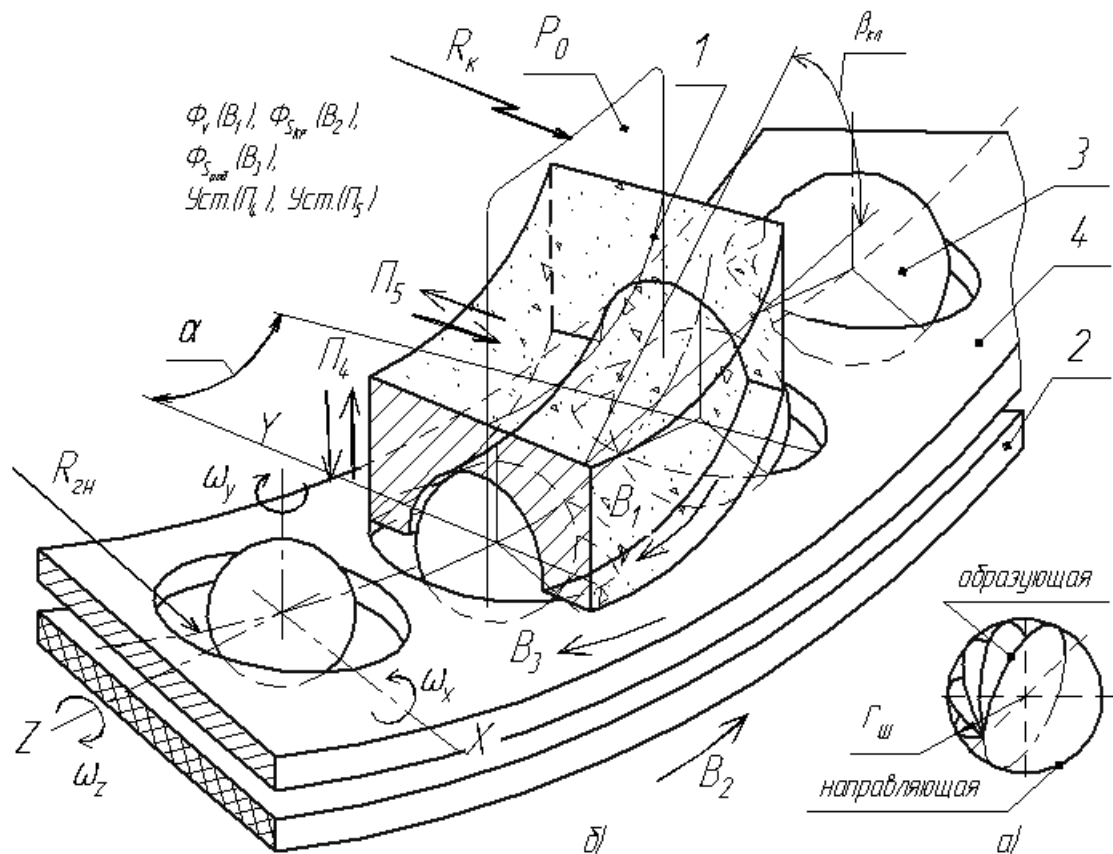


Рис. 1. Схема формообразования сферической поверхности янтарных шаров в клиновом рабочем зазоре: а) производящие линии; б) схема формообразования
 Fig. 1. The scheme of forming spherical surface of amber balls in a wedge-like clearance: а) fabricating lines; б) forming scheme

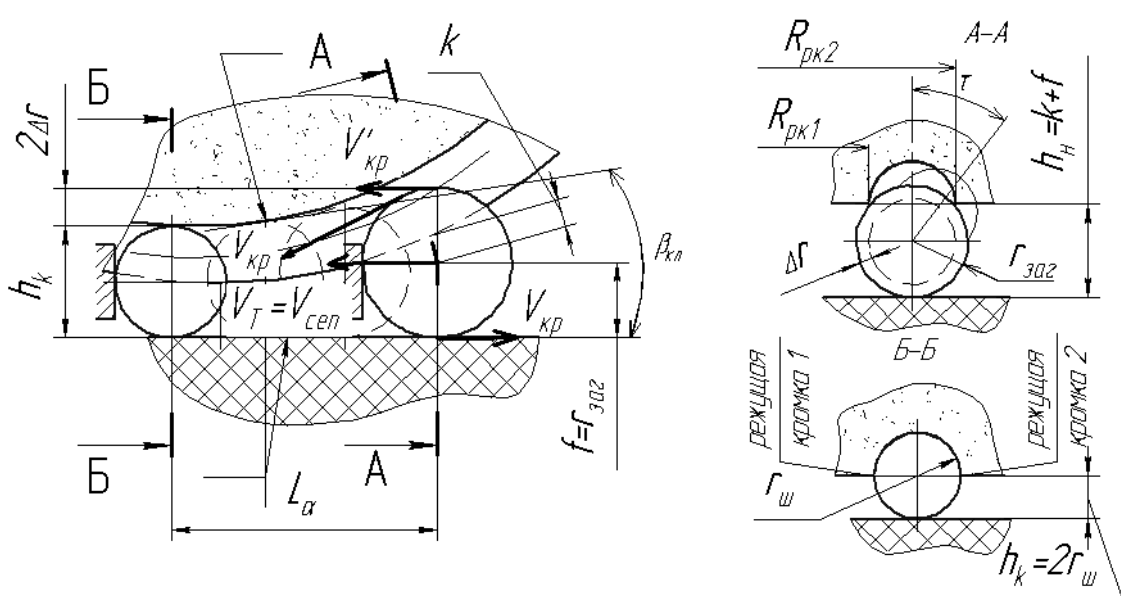


Рис. 2. Осевое и поперечное сечения клинового рабочего зазора
 Fig. 2. Axis and lateral section of the wedge-like operation clearance

копирования. В этом случае точность профиля канавки является важным, принципиальным фактором, поскольку все погрешности профиля переходят полностью на обработанную поверхность сферы. Кроме того, необходимо обеспечить достаточно точные (до $\pm 0,03$ мм) установочные поступательные перемещения абразивного круга относительно заготовки: в вертикальной плоскости, вдоль оси ОУ, – Уст.(П₄); в «поперечной» плоскости, вдоль оси ОХ, – Уст.(П₅).

Направляющая линия (окружность) формируется методом касания, при этом требуются три формообразующих движения: вращение абразивного круга $\Phi(B_1)$; вращение заготовки за счет сил трения ее с опорной поверхностью (круговая подача $S_{кр}$) – $\Phi(B_2)$; перемещение заготовки с помощью сепаратора по клиновому зазору (радиальная подача $S_{рад.}$, реализуемая в неявном виде) – $\Phi(B_3)$.

Таким образом, кинематическая структура рассматриваемых станков должна включать в свой состав базовые, основные кинематические группы, обеспечивающие создание всех рассмотренных выше движений: $\Phi_v(B_1)$, $\Phi_{S_{кр}}(B_2)$, $\Phi_{S_{рад.}}(B_3)$, Уст(П₄), Уст (П₅). Возможно наличие и вспомогательных движений (быстрый подвод-отвод инструмента, загрузка заготовок и др.).

Степень сложности узлов и механизмов, с помощью которых создаются, прежде всего, формообразующие и установочные движения, характеризует техническую сложность станка, его стоимость, затраты на наладку, ремонт и пр.

На рис. 2 представлена развертка на плоскость осевого сечения клинового зазора. Сечение получено с помощью цилиндрической поверхности P_0 (см. рис. 1), ось которой совпадает с осью абразивного круга, а радиус равен радиусу на абразивном круге R_k . Даны поперечные сечения зазора АА и ББ.

Сечение АА проходит через центр заготовки в начальный момент ее обработки. Полная величина начального сечения $h_n = k + f$. Здесь k – расстояние от центра заготовки до точек ее соприкосновения с режущими кромками круга; f – расстояние от центра заготовки до точек ее базирования на опорной поверхности. Для рассматриваемой схемы $f = r_3$, но возможны и другие варианты.

Сечение ББ проходит через центр полностью обработанной заготовки, назовем его калибровочным. Очевидно (см. рис. 2), что величина калибровочного сечения $h_k = 2r_{ш} = d_{ш}$.

Полный съём припуска $\Delta r_{ш}$ и формирование сферической поверхности готового шара осуществляется при перемещении заготовки сепаратором от начального до калибровочного сечения по участку клинового зазора длиной L_α (путь резания) – см. рис. 2. При этом сам сепаратор повернется на рабочий угол α , который определяется значениями радиуса канавки R_k и длиной пути резания L_α – (см. рис. 1).

Длина пути резания L_α может быть найдена из известных геометрических построений (здесь не приводятся) при заданных параметрах r_3 , $r_{ш}$, R_k и условиях базирования заготовки на опорную поверхность.

Чем выше скорость прохождения заготовкой пути L_α , которую обозначим как V_T , тем выше расчетная (теоретическая) производительность Π_T . Так как обработка заготовок осуществляется одновременно с их транспортированием сепаратором через рабочий зазор со скоростью $V_{сеп}$, то $V_T = V_{сеп}$ (это характерно для структур роторных машин – [8]).

В клиновом зазоре могут обрабатываться одновременно несколько заготовок. Количество их лимитируется длиной зазора L_α и расстоянием между гнездами сепаратора, которое, в свою очередь, зависит от диаметра сепаратора и количества в нем гнезд для заготовок.

Качество поверхности сферы, величина шероховатости, направление и характер рисок, точность её геометрических характеристик в значительной степени зависят от векторной суммы тех движений, которые заготовке сообщают исполнительные органы станка при ее перемещении по клиновому зазору.

Наряду с отмеченным выше транспортным движением заготовке сообщается движение круговой подачи с угловой скоростью ω_x (см. рис. 1). На рис. 2 это же движение представлено вектором линейной скорости $\bar{V}_{кр}$ и обеспечивается за счет сил трения заготовки с опорной поверхностью, обладающей повышенными фрикционными свойствами (резина, кожа). При этом скорость резания $\bar{V}_{рез} = \bar{V}_{кр} - \bar{V}'_{кр}$, где $|V'_{кр}| = |V_{кр}|$.

В общем случае радиусы режущих кромок $R_{рк1}$ и $R_{рк2}$ на абразивном круге не равны друг другу (см. сечение А-А), что вызывает относительно медленное вращение заготовки вокруг оси ОУ с угловой скоростью ω_y .

И, наконец, для некоторых схем шлифования точки контакта кромок с заготовкой в процессе её продвижения по клиновому зазору смещаются относительно центра шара на угол τ . Это вызывает незначительный, но важный в технологическом плане поворот заготовки вокруг оси Z со скоростью ω_z .

Таким образом, в каждое отдельное мгновение прохождения заготовкой пути резания величина и направление ее мгновенной скорости ω равны векторной сумме всех трех составляющих: $\bar{\omega} = \bar{\omega}_x + \bar{\omega}_y + \bar{\omega}_z$. Определение составляющих возможно на базе представленной схемы формообразования, но требует дополнительных построений, геометрических и кинематических расчетов с разработкой компьютерных программ.

Предложенная геометрическая модель позволяет оценить и сравнить расчетную (теоретическую) производительность для различных схем шлифования янтарных шаров.

Согласно исследованиям авторов, представленным в [3, 4], расчетная производительность Π_T для станков роторного типа с клиновым рабочим зазором определяется следующим образом:

$$\Pi_T = \frac{\alpha \cdot S_{рад} \cdot z}{6 \cdot \Delta r_{ш}} \text{ мм/мин}, \quad (1)$$

где α – рабочий угол сепаратора; $S_{рад}$ – радиальная подача, мм/с; z - число гнезд сепаратора; $\Delta r_{ш}$ – припуск на сторону на заготовке, мм.

Анализ формулы показывает, что теоретически повышение производительности возможно за счет увеличения α , $S_{рад}$, z и уменьшения $\Delta r_{ш}$.

Значение радиальной подачи $S_{рад}$ определяется свойствами янтаря и выше оптимального принято быть не может.

Количество гнезд в сепараторе z ограничивается соображениями рациональных размеров станка. Возрастание z существенно увеличивает габариты станка, его стоимость и т. п.

Снижение припуска $\Delta r_{ш}$ невозможно в силу высокой степени отклонения поверхности «мятых» шаров, используемых как заготовки, от сферической формы.

Следовательно, в этом случае при заданных значениях $S_{рад}$, z , $\Delta r_{ш}$ производительность зависит исключительно от рабочего угла α , который, в свою очередь, при известном радиусе $R_{гн}$ определяется длиной рабочего зазора. Исходя из известных геометрических соотношений, имеем:

$$\alpha = \frac{L_{\alpha} \cdot 360^{\circ}}{2\pi \cdot R_{гн}}, \quad (2)$$

где $R_{гн}$ – радиус, на котором располагаются оси гнезд сепаратора (см. рис. 1).

Таким образом, видно, что чем выше значение L_{α} , тем выше α и, соответственно, расчетная производительность Π_T .

Анализ схем шлифования позволил выделить несколько разновидностей клиновых рабочих зазоров (рис. 3). Для их классификации обозначим абразивный круг как «тело» с радиусом кривизны по дну профильной канавки ρ_1 , а опорную поверхность механизма круговой подачи – как «контртело» с радиусом кривизны ρ_2 . Радиус кривизны ρ может принимать значения $+$, $-$, ∞ . Значение $\rho = \infty$ соответствует плоской опорной поверхности.

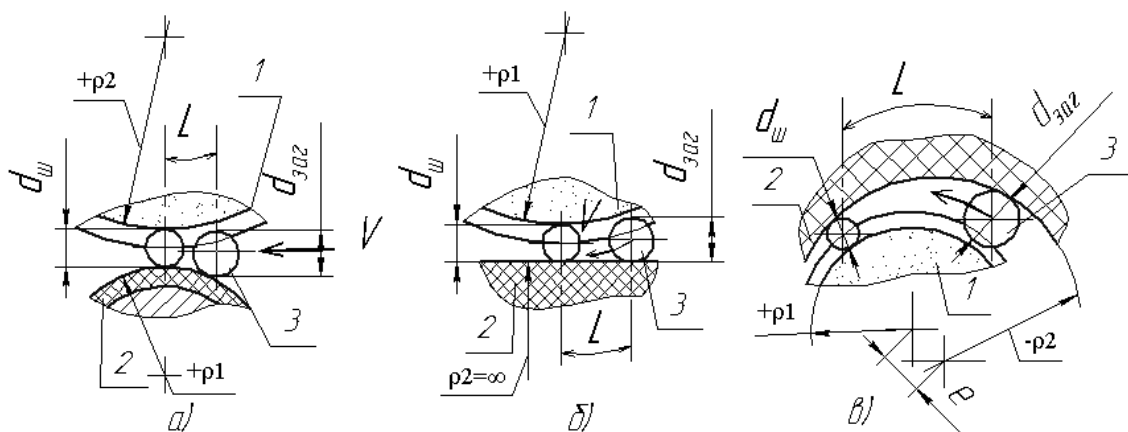


Рис. 3. Форма клинового рабочего зазора: а) наружный; б) боковой; в) внутренний

Fig. 3. Variations of the wedge-like operation clearances: а) outer; б) lateral; в) inner

Исходя из принятых классификационных признаков, в осевом сечении (см. рис. 1, 2) можно выделить три разновидности зазора: наружный ($+\rho_1$, $+\rho_2$); боковой ($+\rho_1$, $\rho_2 = \infty$); внутренний ($+\rho_1$, $-\rho_2$). Конструкции станков, где реализованы данные виды зазоров, представлены в [3-6].

Анализ схем на рис. 3 показывает, что вариант с внутренним клиновым зазором обеспечивает наибольшее значение пути резания L_{α} , но и конструкция станка в этом случае усложняется (проблемы с подачей заготовок в зазор, с удалением отходов и др.). Схемы с внешним и боковым зазорами в этом отношении проще, но имеют свои достоинства и недостатки. Полный сравнительный анализ конструктивных решений и выбор оптимального варианта возможны на базе предложенной геометрической модели, но требуются дополнительные построения и расчеты.

Таким образом, по материалам, представленным в данной статье, можно сделать следующие выводы.

1. Предложена геометрическая модель рабочего клинового зазора специализированных станков-автоматов для шлифования шаров из янтаря, дана классификация зазоров.

2. Рассмотрены геометрические и кинематические характеристики формообразования сферической янтарной поверхности при прохождении заготовкой пути резания.

3. Проведен анализ формулы для определения расчетной производительности станков данного типа и на основе предложенной модели показана значимая роль пути резания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Станок для обработки шаров из янтаря / Б.П. Борисов [и др.] // Известия КГТУ. – 2004. - № 5 – С. 82-86.

2. Перспективные технологии и оборудование обработки янтаря / В.Н. Тилипалов [и др.]; под ред. В.Н. Тилипалова. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2003. - 318 с.

3. Борисов, Б.П. Выбор и обоснование кинематической структуры станка-автомата для шлифования высокоточных шаров из янтаря / Б.П. Борисов, С.В. Цыплаков, Р.О. Яксон // Автоматизация технологических процессов: сб. науч. тр. / КГТУ. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2006. - С. 64-70.

4. Борисов, Б.П. Зависимость производительности от формы и параметров рабочего зазора при шлифовании шаров из янтаря / Б.П. Борисов, Ю.Ф. Правдин // Инновации в науке и образовании – 2006: тр. науч. конф. (18-20 окт.) / КГТУ. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2006. – Ч. 2. - С.118-119.

5. Патент РФ № 2352447 С1, В24В 11/02. Способ обработки шаров из полудрагоценных камней и устройство для его осуществления / Б.П. Борисов, Ю.Ф. Правдин. - Оpubл. 20.04.2009. Бюл. № 11.

6. Патент РФ № 2294823 С1, В24В 11/08. Устройство для обработки шариков из полудрагоценных камней / Б.П. Борисов, Ю.Ф. Правдин. – Оpubл. 10.03.2007. Бюл. № 7.

7. Федотенок, А.А. Кинематические связи в металлорежущих станках / А.А. Федотенок. - М.: Машгиз, 1960.

8. Прейс, В.В. Технологические роторные машины: вчера, сегодня, завтра / В.В. Прейс. – М.: Машиностроение, 1986. – 218 с.

THE PATTERN OF FORMING AMBER BALLS ON THE SPECIALIZED POLISHING MACHINES

B.P. Borisov, J.F. Pravdin, S.S. Michaylov

Geometrical pattern of operational wedge-like clearance of the specialized polishing machines has been presented. Methods for forming spherical amber surface have been determined. Necessary machine movements have been established. Certain kinematic characteristics at transposition of workpiece in the wedge-like clearance have been classified. Variants of wedge-like clearances have been discussed. The influence of cutting distance on the efficiency of polishing amber balls have been determined.

operational wedge-like clearance, geometrical pattern, amber balls, forming, kinematic characteristic, cutting distance, calculated efficiency