

УДК 679.87

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ШЛИФОВАНИЕ ШАРИКОВ ИЗ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ НА УСТАНОВКЕ С РЕГУЛИРУЕМЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ ОСИ ВРАЩЕНИЯ АБРАЗИВНОГО КРУГА

Канд. техн. наук, доц. ЩЕТНИКОВИЧ К. Г., докт. техн. наук, проф. КИСЕЛЕВ М. Г.

Белорусский национальный технический университет

Шарики из стекла, корунда и других природных и синтетических камней применяются в оптических и измерительных приборах, ювелирных изделиях. Заготовками шариков обычно являются кубики, получаемые распиливанием исходного материала алмазно-отрезными кругами. Формообразование кубиков до шарообразной формы осуществляется на станке, выполненном в виде вертикального неподвижного барабана, дном которого является связанный с приводом вращения абразивный круг [1]. Интенсивное вращательное движение заготовок обеспечивает высокую вероятность контакта кубиков с инструментом своими вершинами и ребрами, что необходимо для получения сферы. Непрерывное перемешивание заготовок обеспечивает приблизительно одинаковое абразивное воздействие на каждый из кубиков в обрабатываемой партии.

Однако в процессе шлифования заготовки имеют большие линейные скорости и при взаимных столкновениях многие из них повреждаются, что значительно снижает выход годных изделий. Кроме того, вследствие тормозящего действия на кубики неподвижной стенки барабана абразивный круг на периферии изнашивается во много раз быстрее его срединной части. При определенном износе круга вблизи стенки возможно заклинивание и разрушение заготовок, что вызывает необходимость замены инструмента.

Некоторое снижение неравномерности изнашивания инструмента достигается установкой отражателя, отбрасывающего заготовки к центру, или смещением оси вращения шлифовального круга относительно оси кольцевого

барабана [2]. Однако динамические нагрузки и в этих случаях имеют значительную величину из-за большой линейной скорости заготовок в рабочей зоне.

Значительного уменьшения ударных нагрузок достигают установкой над абразивным кругом дискового сепаратора, в цилиндрических отверстиях которого по одному размещают кубики. Однако производительность обработки после установки сепаратора резко снижается из-за малого количества заготовок в партии и уменьшения усилия прижима их к поверхности круга, ограниченного весом одной заготовки. Полученные шарики имеют большую разноразмерность, так как интенсивность обработки кубиков зависит от расстояния отверстий сепаратора до оси шлифовального круга. Торцевая поверхность инструмента изнашивается неравномерно вследствие разной интенсивности обработки заготовок и неравномерности расположения отверстий сепаратора вдоль кольцевых зон шлифовального круга. Сепаратор применяют при шлифовании шариков, изготовленных из минералов, имеющих низкую механическую прочность, а также при обработке крупных шариков. Таким образом, применение сепаратора уменьшает ударные нагрузки, действующие на заготовки, но при этом резко снижается производительность обработки и увеличивается разноразмерность шариков.

Целью работы является теоретическое и экспериментальное обоснование конструкции установки, обеспечивающей возможность интенсивного формообразования кубиков из хрупких материалов до шарообразной формы при небольших динамических нагрузках и рав-

номерном изнашивании инструмента. Для достижения указанной цели необходимо обеспечить возможность обработки значительной партии заготовок при малых скоростях их поступательного движения и непрерывной циркуляции в зоне обработки.

Решение поставленных задач достигается наклонным расположением абразивного круга и размещением контейнера секторообразной формы для заготовок в той части круга, где вертикальная составляющая линейной скорости его точек направлена вверх. Схема установки для предварительного шлифования шариков из кубиков представлена на рис. 1 [3].

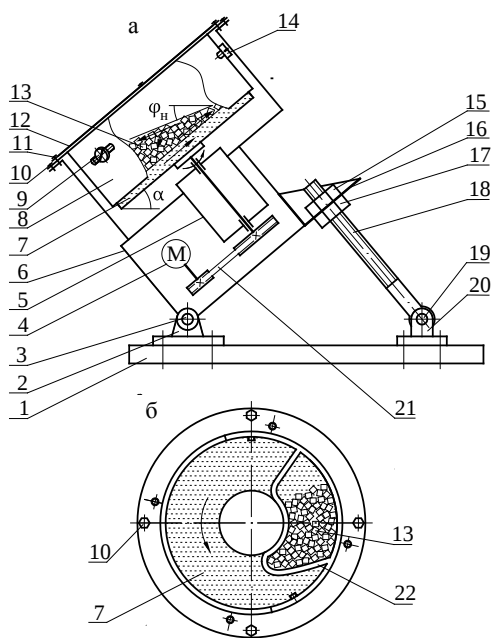


Рис. 1. Установка для предварительного шлифования шариков из кубиков: а – схема установки; б – рабочая зона

В состав установки входят массивная плита 1, поворотный корпус 6 с закрепленными в нем шпинделем 5 и электродвигателем 4, связанными клиноременной передачей 21. На шпинделе установлен абразивный круг 7, находящийся внутри барабана 8, закрепленного на корпусе болтами 10. Кубики 13 загружаются в контейнер 22 секторообразной формы при отпущенных винтах 11 и снятой крышке 12. Контейнер установлен с минимальным зазором над абразивным кругом и крепится к внутренней стенке барабана винтами 9 и 14. Угол наклона корпуса, установленного на оси 3 и стойках 2, регулируется с помощью откидного болта 18,

верхний конец которого входит в паз кронштейна 16. Нижний конец болта установлен на оси 19 вилки 20. В требуемом положении корпус фиксируется гайками 15 и 17.

Минимальный угол α наклона торцевой поверхности абразивного круга к горизонтальной плоскости должен обеспечивать сползание свободного кубика с вращающегося инструмента. В этом случае вся масса кубиков не перемещается вместе с абразивным кругом, а смещена к нижней стенке контейнера. На наклонной плоскости круга на свободный кубик (рис. 2, вверху) действуют вес кубика G , нормальная реакция торцевой поверхности N и сила трения инструмента о кубик $F_{тр}$.

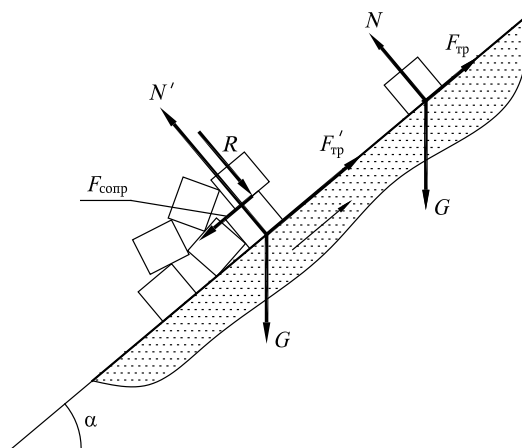


Рис. 2. Схема действия сил на кубики, находящиеся на вращающемся абразивном круге

Проектируя действующие силы на направление действия силы трения, найдем условие сползания кубика с наклонной торцевой поверхности вращающегося круга:

$$F_{тр} \leq G \sin \alpha$$

или

$$fG \cos \alpha \leq G \sin \alpha,$$

где f – коэффициент трения скольжения.

Откуда минимальный угол $\alpha_{\min}$ сползания кубика

$$\operatorname{tg} \alpha_{\min} = f.$$

Следовательно, при угле наклона торцевой поверхности круга, превышающем угол трения, свободный кубик будет сползать вниз. Угол трения зависит от зернистости шлифовального круга, материала и шероховатости камня. Экс-

перименты показали, что сползание кубиков шероховатостью $Ra = 3,2-6,3$ из поделочного камня на круге из карбида кремния зеленого зернистостью 16–20 имеет место, когда угол α составляет $32-36^\circ$. Этому диапазону соответствуют коэффициенты трения f в пределах $0,62-0,73$.

При большом количестве заготовок в обрабатываемой партии кубики дополнительно прижимаются к абразивному кругу расположенными выше заготовками. Если над нижними кубиками расположен еще один ряд заготовок (рис. 2, внизу), то дополнительная нагрузка R , прижимающая кубик к торцевой поверхности круга, составит в среднем $G \cos \alpha$. Следовательно, нормальная реакция торцевой поверхности абразивного круга $N' = 2G \cos \alpha$, а сила трения увеличится до значения $F'_{\text{тр}} = 2fG \cos \alpha$. Аналогично при прижме нижних кубиков двумя верхними рядами заготовок сила трения составит $3fG \cos \alpha$.

Рассмотрим условия, при которых становится возможным перемещение вверх нижних кубиков, находящихся в контакте с шлифовальным кругом, относительно остальных заготовок. Перемещению кубиков помимо скатывающей силы $G \sin \alpha$ будет препятствовать также сила сопротивления $F_{\text{сопр}}$, вызванная трением о верхние заготовки. В случае дополнительного прижима заготовок одним расположенным выше рядом кубиков сила сопротивления с учетом коэффициента внутреннего трения заготовок друг о друга f_r составит $F_{\text{сопр}} = f_r G \cos \alpha$. Максимальный угол α_{max} , при котором еще возможно перемещение кубиков вверх, определим из уравнения

$$F'_{\text{тр}} - G \sin \alpha_{\text{max}} - F_{\text{сопр}} = 0,$$

или

$$2fG \cos \alpha_{\text{max}} - G \sin \alpha_{\text{max}} - f_r G \cos \alpha_{\text{max}} = 0.$$

Откуда

$$\text{tg } \alpha_{\text{max}} = 2f - f_r. \quad (1)$$

Учитывая, что коэффициент трения f заготовок о поверхность абразивного круга больше, чем внутренний коэффициент трения f_r заготовок друг о друга, перемещение нижнего ряда кубиков возможно при угле наклона торцевой поверхности круга, превышающем угол трения.

Экспериментальное определение внутреннего коэффициента трения для поделочных камней, имеющих шероховатость после операции распиливания $Ra = 3,2-6,3$, показало, что f_r находится в диапазоне $0,37-0,45$. Подстановка усредненных значений f и f_r в формулу (1) дает величину угла $\alpha_{\text{max}} = 43,2^\circ$. При многорядном расположении кубиков максимальное значение угла α увеличивается еще больше. Например, при трехрядном расположении кубиков $\text{tg } \alpha_{\text{max}} = 3f - 2f_r$, следовательно, перемещение нижних кубиков также будет иметь место.

Таким образом, при вращении абразивного круга нижний ряд кубиков будет перемещаться вверх по наклонной торцевой поверхности, если угол ее наклона не превышает α_{max} . Как показано выше, для сползания вниз свободных кубиков угол наклона круга должен быть не менее α_{min} . Следовательно, для обеспечения циркуляции заготовок в зоне обработки угол наклона абразивного круга должен находиться в диапазоне $\alpha_{\text{min}} \leq \alpha \leq \alpha_{\text{max}}$.

Визуальные наблюдения за перемещением заготовок в загрузочном контейнере показали, что кубики, находящиеся в контакте с абразивным кругом, медленно движутся вверх по наклонной торцевой поверхности и, достигнув крайнего верхнего положения, размещаются по поверхности круга в один слой. Часть кубиков не удерживается на наклонной поверхности круга, и они скатываются вниз по склону, образованному самими заготовками. Кубики из расположенных выше рядов занимают места, освободившиеся в нижних рядах, и затем снова перемещаются вверх. Учитывая низкую скорость поступательного движения заготовок динамические нагрузки, действующие на них при обработке, незначительны. Угол наклона наружной поверхности заготовок к горизонтальной плоскости равен углу естественного откоса заготовок в движении φ_n (рис. 1), при этом $\varphi_n = 0,7\varphi_0$, где φ_0 – угол естественного откоса заготовок в покое [4]. Например, для гравия усредненное значение угла естественного откоса составляет $37,5^\circ$ [5] и, следовательно, $\varphi_n = 26,3^\circ$.

Кроме поступательного движения, заготовки совершают вращательное движение, при этом ось вращения под влиянием различных

случайных факторов непрерывно изменяет свое положение. Наиболее интенсивное вращение наблюдается у заготовок, расположенных в верхней части контейнера. Вращательное движение обеспечивает формообразование сферической поверхности заготовок и способствует смещению кубика вниз с торцевой поверхности круга на поверхность склона. При циркуляции кубиков выравниваются условия их обработки в контейнере и, следовательно, уменьшается разноразмерность шариков. Нижний участок контейнера имеет вытянутую влево вниз форму, позволяющую увеличить длину дуги контакта заготовок с инструментом по мере уменьшения радиуса шлифовального круга. Указанная форма контейнера позволяет в определенной степени снизить неравномерность изнашивания абразивного круга, вызванного различием линейных скоростей точек на его торцевой поверхности.

На описанной выше установке шлифовались кубики размером 8–12 мм из авантюрина, лазурита, раухтопаза, чароита, яшмы. Разность размеров сторон кубиков в обрабатываемой партии не превышала 0,5 мм. При обработке применялись абразивные круги из карбида кремния зеленого зернистостью 16 или 20. Частота вращения абразивного круга диаметром 250 мм составляла 1500 об/мин. Угол наклона торцевой поверхности шлифовального круга к горизонтальной плоскости в начале обработки находился в пределах 37–43°. Количество кубиков в обрабатываемой партии выбиралось таким образом, чтобы при вращении шлифовального круга они не достигали верхней радиальной стенки контейнера и, следовательно, не ударялись о нее. Например, при обработке кубиков со стороной 10 мм в контейнере размещалось 200 заготовок.

В зависимости от твердости и размеров камня время обработки составляло 6–10 ч. На точность обработки, помимо точности нарезания кубиков, влияет различие механических свойств камня в разных кристаллографических направлениях. Отклонение от сферической формы и разноразмерность полученных шариков не превышали 1,3 мм, при этом шарики имели точностные параметры одного уровня. Количество поврежденных шариков в обрабатываемых партиях не превышало 2–5 %. Допустимый износ торцевой поверхности шлифовального круга может достигать до 2/3 диаметра

окончательно обработанного шарика, так как заклинивание заготовок между кругом и радиальными стенками контейнера исключается. Неравномерность износа рабочего участка абразивного круга не превышала 1,2 мм, что позволяет в несколько раз увеличить период его стойкости по сравнению со шлифованием шариков в дисковом сепараторе. Производительность обработки повысилась в 1,6–1,8 раза.

ВЫВОДЫ

1. Разработана конструкция установки для предварительного шлифования шариков из хрупких неметаллических материалов, заготовками которых являются кубики. Наклонное расположение шлифовального круга и применение загрузочного контейнера секторообразной формы позволяют обрабатывать шарики без применения сепаратора. Новизна конструкции установки подтверждена патентом на изобретение.

2. Анализ сил, действующих на заготовки в зоне обработки, позволил теоретически установить диапазон углов наклона торцевой поверхности абразивного круга к горизонтальной плоскости, обеспечивающий циркуляцию заготовок в загрузочном контейнере.

3. Низкая скорость поступательного движения заготовок в процессе шлифования позволяет обрабатывать заготовки при низких динамических нагрузках и высокой стойкости абразивного инструмента.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Справочник** технолога-оптика / М. А. Окатов [и др.]; под ред. М. А. Окатова. – СПб.: Политехника, 2004. – 679 с.
2. **Способ** изготовления прецизионных шаров и устройство для его осуществления: пат. 2550564 ФРГ, МКИ В 24В 11/02 / П. Рейх. – № Р 2550564; заявл. 11.11.1975; опубл. 25.05.1976 // Изобрет. за рубежом. – 1976. – № 2. – С. 61.
3. **Устройство** для обработки шариков: пат. 6588 Респ. Беларусь, МПК В 24В 11/02 / А. В. Дроздов, К. Г. Щетникович; заявитель и патентообладатель Белорус. техн. ун-т. – № а 20001060; заявл. 30.11.2000; опубл. 30.12.2004 // Официальный бюл. / Нац. центр интеллектуал. собственности. – 2004. – № 4. – С. 118.
4. **Зенков, Р. Л.** Машины непрерывного транспорта / Р. Л. Зенков, И. И. Иванков, Л. Н. Колобов. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.
5. **Конвейеры** с подвесной лентой / В. И. Аверченков [и др.]; под общ. ред. В. И. Аверченкова, В. Н. Ивченко. – М.: Машиностроение, 2004. – 256 с.

Поступила 10.01.2007