

обработки вследствие вибраций и других случайных факторов.

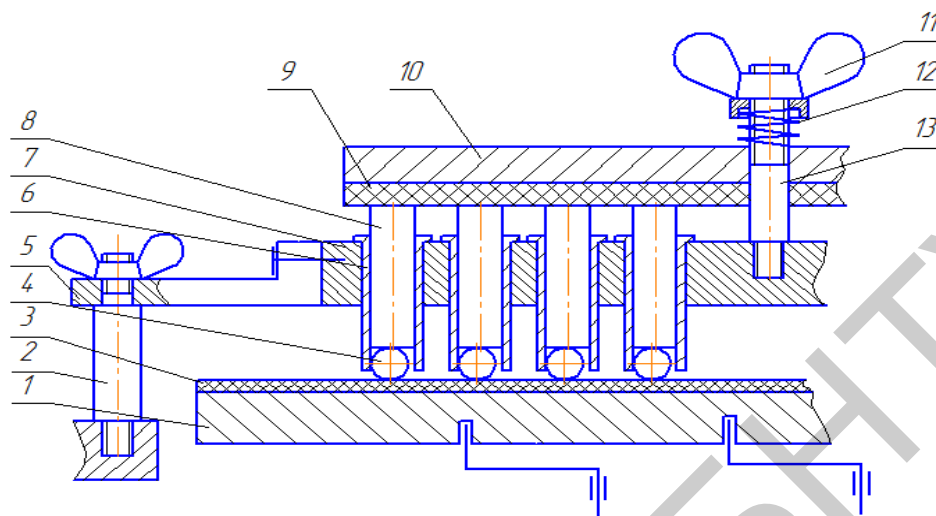


Рисунок 1– Устройство для грубого шлифования шариков

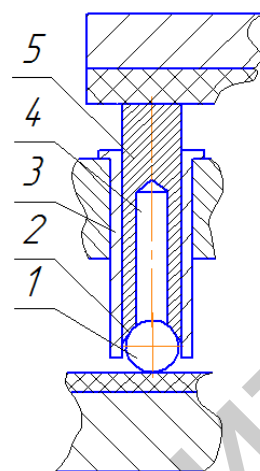


Рисунок 2 – Устройство для тонкого шлифования шариков

Достоинством предлагаемой конструкции инструмента является то, что максимальные  
УДК 679.91

нагрузки на шарики, особенно в начальной стадии шлифования, незначительно превышают среднее давление на заготовки в обрабатываемой партии. В результате повышается выход годного и появляется возможность шлифовать шарики из хрупких минералов, обладающих совершенной спайностью. Положительным фактором также является повышение качества поверхностного слоя, вследствие снижения динамических нагрузок.

1. Технология оптических деталей: учебник для вузов/ М.Н. Семибратов, В.Г. Зубаков, С.К. Штандель; под ред. М.Н.Семибратова. – М.: Машиностроение, 1978. – 432 с.
2. Справочник технолога-оптика/ М.А.Окатов [и др.]; под ред. М.А.Окатова. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехник, 2004. – 679 с.

## ОБРАБОТКА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ШАРИКОВ ПРЯМОЛИНЕЙНО ПЕРЕМЕЩАЮЩИМСЯ ИНСТРУМЕНТОМ

Щетникович К.Г., Пазыко С.В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Шлифование шариков из хрупких неметаллических материалов выполняется на станках с поступательным перемещением инструмента. Заготовки размещают в конических отверстиях подвижного верхнего диска, а нижняя планшайба, имеющая резиновое покрытие, совершает поступательное движение по окружности [1]. Обработка происходит в результате скольжения

заготовок о стенки отверстий в присутствии абразивной суспензии под действием сил терния о резиновое покрытие нижней планшайбы. После взаимной приработки рабочих поверхностей инструмента и шариков контакт между ними происходит по поверхности - шаровому поясу, высота которого постоянно увеличивается. Большая площадь контакта инструмента и заготовок

обеспечивает относительно высокую скорость съема припуска, несмотря на низкую скорость поступательного перемещения инструмента. Скорости любой точки планшайбы одинаковы, поэтому условия обработки и интенсивность шлифования в любом коническом отверстии одинаковы.

Анализ кинематики шариков в коническом отверстии показывает, что при поступательном движении по окружности нижней планшайбы угол наклона мгновенной оси вращения шарика к горизонтальной плоскости остается постоянным и теоретически ось вращения проходит через одни и те же точки на поверхности сферы. Данный вывод подтверждается экспериментальными исследованиями движения шарика при очень низкой скорости поступательного перемещения инструмента. Однако в справочной и учебной литературе [1,2] указывается, что смещение положения мгновенной оси вращения шарика происходит вследствие постоянного изменения направления вектора скорости планшайбы. Действительно, при поступательном движении по окружности, вектор скорости планшайбы за каждый цикл перемещения планшайбы поворачивается на  $360^\circ$ , но это не гарантирует автоматического получения сферической поверхности.

Причиной изменения мгновенной оси вращения шарика являются колебания и вибрации в технологической системе, которые усиливаются по мере возрастания скорости перемещения инструмента. Возмущающими факторами, вызывающими вибрации инструмента, являются работа приводных устройств, погрешности направляющих элементов станка, неуравновешенность движущихся частей, неточности рабочих поверхностей инструментов, погрешности формы самих заготовок, неравномерность распределения абразивной суспензии в зазоре между шариком и коническим отверстием и т.д.. Вследствие неравномерного распределения давления по поверхности контакта шарика с инструментом, касательные силы не уравниваются и вызывают смещение оси вращения шарика.

Однако, как показывают результаты шлифования шариков из минерального сырья действия возмущающих факторов в технологической системе не всегда достаточно изменяют мгновенной оси вращения шарика. В обработанной партии часто имеются заготовки, имеющие значительные искажения сферической формы несмотря на длительное шлифование. Чаще всего это случается, когда исходная заготовка имеет вытянутую форму и в процессе шлифования вращается преимущественно вокруг своей наибольшей оси.

Авторы патента [3] предлагают для повышения «степени беспорядочности движения шариков» сообщать верхнему диску сложное движение

по замкнутой кривой второго порядка с переменной скоростью. Однако и в этом случае закономерное изменение положения оси вращения шарика не гарантируется, так как при перемещении по криволинейной траектории шарик будет стремиться вращаться вокруг оси, момент инерции вокруг которой минимален. Кроме того, реализация способа связана с преодолением значительных технических трудностей.

Достигнуть закономерного изменения оси вращения шариков проще всего, если резко изменить направление движения инструмента на  $90^\circ$  [4]. В этом случае, если ось вращения первоначально перемещалась, допустим, в горизонтальной плоскости, то после изменения направления движения будет находиться в вертикальной плоскости. Описываемая ниже установка обеспечивает перемещение шариков по траектории, близкой к прямоугольнику.

Схема установки для обработки шариков прямолинейно перемещающимся инструментом представлена на рисунке 1.

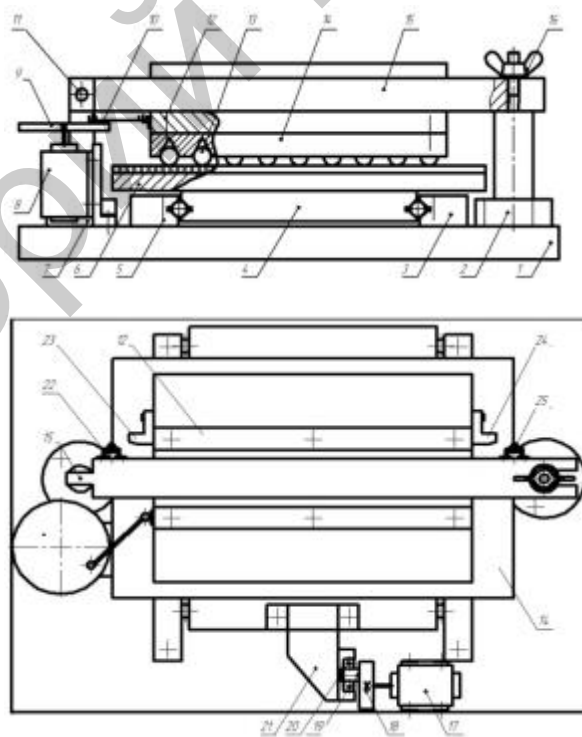


Рисунок 1 – Схема станка для обработки шариков

На столе 1 установлены шариковые направляющие 3,5, к каретке 4 которых прикреплена прямоугольная планшайба 6, имеющая резиновое покрытие. Обрабатываемые шарики 13 размещаются в конических отверстиях верхнего инструмента 14, к которому крепится направляющая 12. В прямоугольный паз направляющей скольжения входит откидная планка 15, которая может поворачиваться вокруг оси 11 стойки

7. Прижим планки 15 к стойке 2 осуществляется гайкой-барашком 16. Возвратно-поступательное движение верхнему инструменту сообщается от двигателя 8, с помощью кривошипно-ползунного механизма 9,10.

Кратковременное смещение планшайбы осуществляется с помощью эксцентрика 18 и вилки 21. Для снижения сил трения на пальце 19 установлен подшипник 20. В крайних положениях верхнего инструмента упоры 23,24 входят в контакт с микропереключателями 22,25.

При вращении электродвигателя 8 верхний инструмент совершает возвратно-поступательное движение вдоль планки 15. В крайнем левом положении инструмента упор 23 нажимает на кнопку микропереключателя 22 и сигнал поступает на блок управления 9 (на схеме не показан) с шаговым двигателем 17, который поворачивается на заданный угол и вызывает перемещение каретки 4, а следовательно и нижней планшайбы на требуемую величину. При перемещении верхнего инструмента в крайнее положение под воздействием упора 24 срабатывает микропереключатель 25 и блок управления дает команду шаговому двигателю на смещение нижней планшайбы в прежнее положение. В результате, за время одного оборота кривошипа 9, траекторией движения каждого шарика будет фигура, близкая по форме к прямоугольнику. Резкое изменения направления движения шарика

УДК 621.923.7

### ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ПОЛИАБРАЗИВНОЙ СУСПЕНЗИИ НА ОСНОВЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ ( $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ ) ДЛЯ ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКОГО ПОЛИРОВАНИЯ КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН

Якубовская С.В.<sup>1</sup>, Корбит А.А.<sup>1</sup>, Денисман В.Г.<sup>2</sup>, Сечко Т.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Филиал «Камертон» ОАО «ИНТЕГРАЛ»  
Пинск, Республика Беларусь

В настоящее время единственным способом финишной обработки поверхности пластин монокристаллического кремния при производстве СБИС является двухстадийное химико-механическое полирование (ХМП) водной суспензией ультрадисперсного диоксида кремния. Однако наряду с высокими эксплуатационными показателями суспензии имеют ряд недостатков: они недостаточно стабильны, склонны к коагуляции. Отклонение этих характеристик от оптимума приводит к изменению скорости съема, появлению дополнительных дефектов и нарушенного приповерхностного слоя, что недопустимо при производстве СБИС.

Наиболее перспективными направлениями для повышения эксплуатационных свойств полирующих суспензий на основе ультрадисперсного диоксида кремния следует считать модифи-

цирует смещение положения его мгновенной оси вращения.

Наибольшее удаление от своего первоначального положения мгновенная ось вращения шарика получит, если величина смещения планшайбы в поперечном направлении составит  $1/4\pi d$ ,  $3/4\pi d$ ,  $1\frac{1}{4}\pi d$ ,  $1\frac{3}{4}\pi d$ ..., где  $d$  - диаметр шарика. Угол поворота шагового двигателя задается блоком управления исходя из этих величин. Быстрые смещения оси вращения шарика обеспечивают высокую точность сферической поверхности.

1. Справочник технолога-оптика / М.А. Окатов, Э.А. Антонов, А. Байгожин. – СПб.: Политехника, 2004. - 679 с.
2. Семибратов, М.Н. Технология оптических деталей: учебник / М.Н. Семибратов, В.Г. Зубаков, С.К. Штандель. – М.: Машиностроение, 1985. - 368 с.
3. Способ шлифования шариков: пат. 1510250 РФ, 6 В24В 11/02 / Л.Н. Васин, И.А. Коробченко; заявитель научно-исследовательский институт оптического приборостроения для народного хозяйства и любительской кинофотоаппаратуры ВНИЦ «ГОИ им.С.И. Вавилова» - №4242987/08; заявл. 13.05.87; опубл. 10.12.95/ 1995.
4. Бонд, В.Л. Технология кристаллов / В.Л. Бонд. – 1-е изд. –США: 1976.- 303 с.

цирование их состава путем дополнительного введения ультрадисперсных оксидов и введение поверхностно-активных веществ (ПАВ), позволяющих изменить свойства поверхности ультрадисперсных порошков и повысить агрегативную устойчивость, абразивную и полирующую способность суспензий.

Целью настоящей работы являлось исследование агрегативной устойчивости, реологических и эксплуатационных свойств полиабразивных суспензий  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$  различного состава и разработка новой полирующей композиции для ХМП кремниевых пластин.

Агрегативную устойчивость водных суспензий в присутствии ПАВ оценивали исходя из седиментационной стабильности суспензий, характеризующейся высотой столба жидкой фазы в мм над седиментационным осадком, формирую-