

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ И ПОЛИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Robert-Jaap M. van der Bijl, Oliver W. Fahnle, Hedser van Brug, and Joseph J. M. Braat

перевод Лазарева Д.С.

Предложен новый метод для контроля качества (шероховатости и поверхностного дефекта) оптических поверхностей при шлифовании и полировке, полной внутренней отражательной микроскопии (иОВРМ). Дается общее описание нового метода измерения, а затем описание экспериментальной установки измерения во время работы. Приводятся экспериментальные результаты метода, которые демонстрируют, что иОВРМ может использоваться либо для управления процессом уменьшения шероховатости при производстве, либо для исследования самого процесса. Обсуждается возможность реализации метода в оптическом цехе. © 2000 Оптическое общество Америки

1. Введение

Процесс исследования поверхностных характеристик оптических компонентов во время шлифования и полирования является полезным инструментом для оптических исследований. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации процессов изготовления, минимизации времени изготовления (процессы могут автоматически останавливаться при достижении желаемого качества поверхности оптической поверхности) и процесса производства [параметры процесса могут (автоматически) корректироваться при шлифовании и полировании]. Тот факт, что производственный процесс физически изменяет обрабатываемую поверхность, серьезно мешает исследованию поверхности во время обработки. В современной технологии изготовления оптических деталей качество поверхностей не контролируется в зоне обработки во время шлифования и полирования. Поэтому в дальнейшем мы представляем метод, на который не влияют процессы машиностроения с СОТС, и, таким образом, его можно применять для непрерывной оценки изменения качества поверхности [изменение шероховатости и поверхностного дефекта (ПД)]. В этой статье мы сообщаем о первых результатах экспериментов, в которых мы применили общую внутреннюю рефлекторную микроскопию (иОВРМ), оценивающую интенсивность происходящих процессов шлифования и полирования во время работы.

2. Способ

Этот метод контролирует качество поверхности (шероховатость и ПД) оптического компонента во время шлифования и полирования и исходит из общей внутренней рефлекторной микроскопии (ОВРМ), которая является

методом неразрушающего контроля, который обычно применяется для измерения ПД. В ОВРМ поверхность образца освещается внутри материала лазерным лучом под углом, превышающим критический угол полного отражения, в результате чего луч полностью отражается на исследуемую поверхность. Шероховатость поверхности и дефекты (например, трещины) на поверхности или вблизи нее могут привести к рассеянию лазерного излучения; в ОВРМ этот рассеянный свет может быть качественно обнаружен с помощью микроскопа, расположенного над поверхностью, как показано на рис. 1. Призма используется для соединения лазерного луча в образце с жидкостью, проходящий через датчик, который предназначен для предотвращения отражения на интерфейсе призмы к образцу; можно также использовать другие сочетания. Рассеивание света на поверхности образца приводит к уменьшению интенсивности отраженного пучка, что качественно указывает на существование трещин.

В то время как ОВРМ обнаруживает рассеянный свет, представленный здесь метод использует интенсивность отраженного света для обнаружения как шероховатости, так и ПД и поэтому называется иОВРМ, чтобы указать, что это ОВРМ - детектор интенсивности. Вариации в интенсивности этого пучка вызваны вариациями рассеяния и указывают на изменение структуры поверхности образца. В дальнейшем мы сообщаем об экспериментах, в которых мы применили иОВРМ для контроля за повышением качества, то есть уменьшения шероховатости оптических поверхностей при шлифовании и полировании.

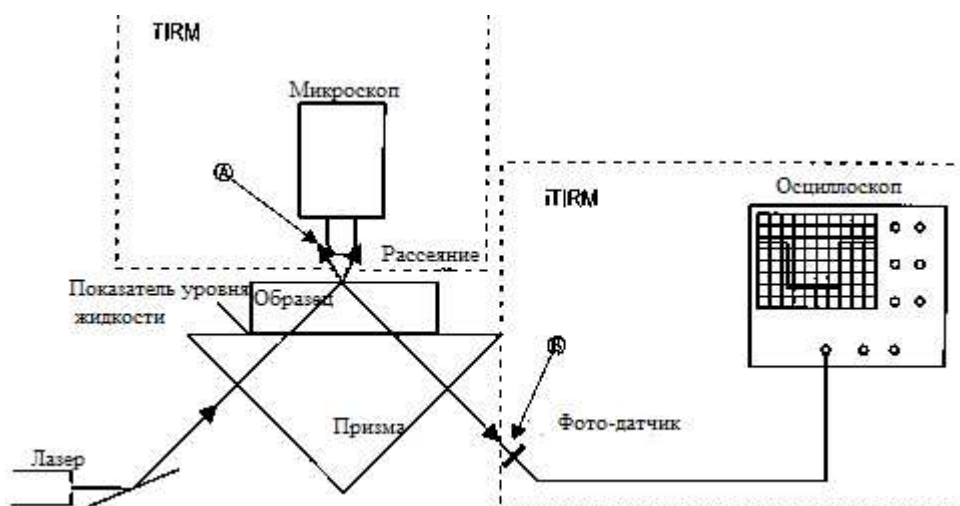


Рис. 1. – ОВРМ по сравнению с иОВРМ. В ОВРМ рассеянный свет оптически определяется при А, а в иОВРМ интенсивность лазерного луча измеряется в точке В.

3. Исследование процесса снижения шероховатости

А. Настройка

В процессе исследования измерялось качество поверхности образцов из листового стекла (Вк7). Предполагалось, что процессы восстановления

шероховатости, которые мы исследовали (шлифование, микрошлифование и полирование), происходят непрерывно по всей поверхности образца. В этих предположениях среднеквадратичное значение шероховатости поверхности можно считать постоянным по всей поверхности, поэтому исследование небольшой площади поверхности будет достаточным. Поскольку образец был установлен на шпинделе, вращающемся внутри шлифовального станка, луч не мог войти и оставить образец через нижнюю часть образца через призму сцепления. Чтобы преодолеть эту трудность, мы обработали боковую стенку плоского круглого образца и позволили лучу ввести образец непосредственно через боковую стенку. Используемые образцы имели толщину 1 см и диаметр 5 см, а соединение пучка через сторону образца приводило к углам падения и отражения приблизительно 80° относительно нормали поверхности и, следовательно, к удлиненному проецируемому пятну на поверхности в направлении распространения пучка.

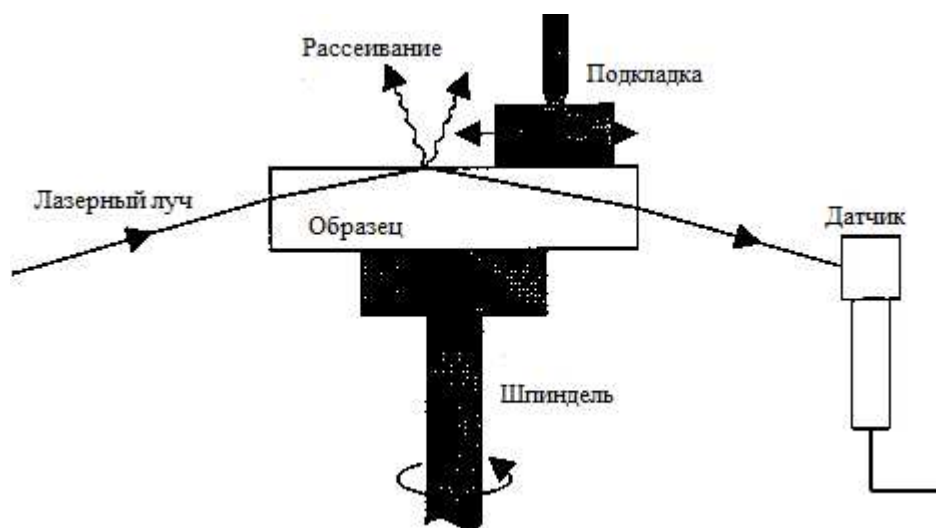
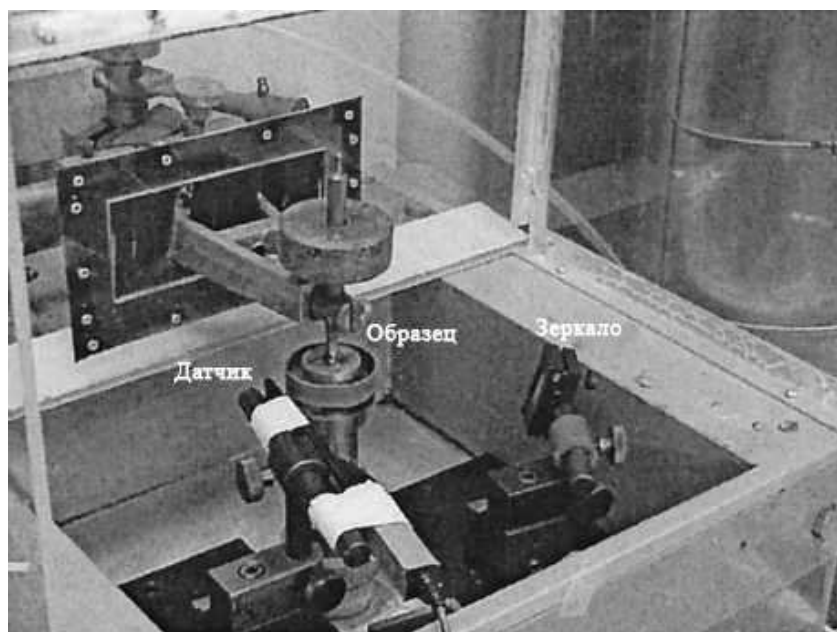
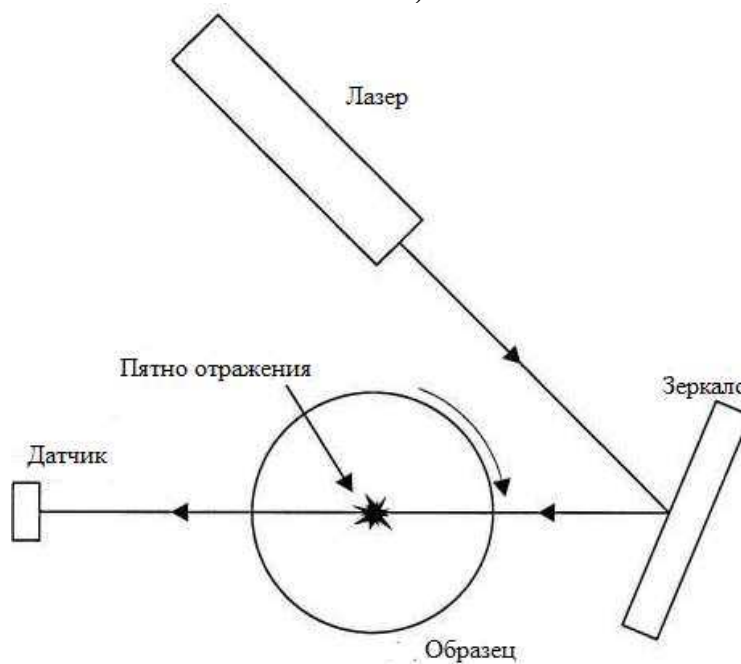


Рис. 2. Установка измерительной системы и ОВРМ на шлифовальном станке. Датчик подключен к осциллографу

Ориентация образца по отношению к лучу постоянно менялась из-за вращения, и площадь, покрытая пятном контроля, изменялась соответствующим образом, что приводило к колебаниям измеряемого сигнала в направлении выходного луча. Этими колебаниями можно пренебречь, поскольку мы точно выровняли образец и шпиндель таким образом, чтобы поверхность была перпендикулярна оси вращения. Установка измерения показана на рис. 2 и 3. Чтобы не допустить, чтобы СОТС, используемая для шлифования и полирования, протекала над стороной образца и препятствовала лучу, мы прикрепляли кусок ленты к верхнему краю цилиндрической стороны образца.



а)



б)

Рисунок 3. а) – шлифовальный станок с системой измерения иОВРМ. Лазерный луч поступает в полировальную машину сзади и отражается зеркалом к образцу; б) – вид сверху установки измерения

Датчик был подключен к цифровому осциллографу, который отображал интенсивность отраженного пучка, изменяющегося во время процесса уменьшения шероховатости и мог хранить результаты измерений на гибком диске.

Б. Эксперимент

Мы протестировали метод измерения иОВРМ в нескольких процессах шлифования и полирования, чтобы обнаружить переходы между уровнями шероховатости, связанными с различными состояниями образца. Целью проведения измерений было продемонстрировать способность обнаруживать изменение качества поверхности во время процессов снижения шероховатости с помощью иОВРМ; связанная с интенсивностью отраженного луча с поверхностными шероховатостями, такие величины как среднеквадратичное значение высоты поверхности или длины корреляции в данном исследовании не рассматривалась, но будут предметом дальнейших исследований.

Первый эксперимент проводили на оптической поверхности (Вк7), которая была предварительно отшлифована с СОТС на водной основе, содержащей абразивные материалы размером 10% #400 SiC. Впоследствии эту поверхность шлифовали с помощью СОТС на водной основе, содержащей 10% абразивов SiC8 800; угловая скорость заготовки составляла 2π рад/с, а давление составляло примерно 10^4 Па. Проводился контроль качества поверхности. Результат эксперимента показан на следе осциллоскопа на рис. 4. Точка (I) в следе связана с уменьшением рассеяния на поверхности при добавлении СОТС к образцу. Жидкий слой уменьшает контраст и, таким образом, рассеивает шероховатую поверхность. Примерно через 1 мин этот эффект исчез, вероятно, из-за того, что шлифовальный инструмент распространил СОТС на поверхность заготовки с тонкой жидкой пленкой. Этот тонкий слой больше не будет покрывать все неровности в структуре поверхности, и интерфейс, на котором будет отражаться свет, снова станет грубым, тем самым увеличивая рассеивание [точка (II) на рис.4]. Явления, упомянутые выше, обусловлены оптическими свойствами СОТС на поверхности и не вызваны изменениями самой поверхности. Через ~ 2 мин интенсивность отраженного пучка начинает возрастать [точка (III)] из-за пониженной шероховатости, пониженного уровня ПД или того и другого. Это увеличение является самым высоким изначально, потому что сначала удаляются самые острые неровности на поверхности, и эти неровности больше всего напоминают начальную шероховатость поверхности. После этой стадии скорость снижения шероховатости уменьшается до достижения максимальной гладкости, которая может быть достигнута с помощью этого процесса, как показано горизонтальным окончанием следа. Таким образом, метод иОВРМ может быть использован для оптимизации изготовления оптических деталей путем минимизации времени процесса; то есть его можно контролировать, когда достигнута конечная шероховатость.

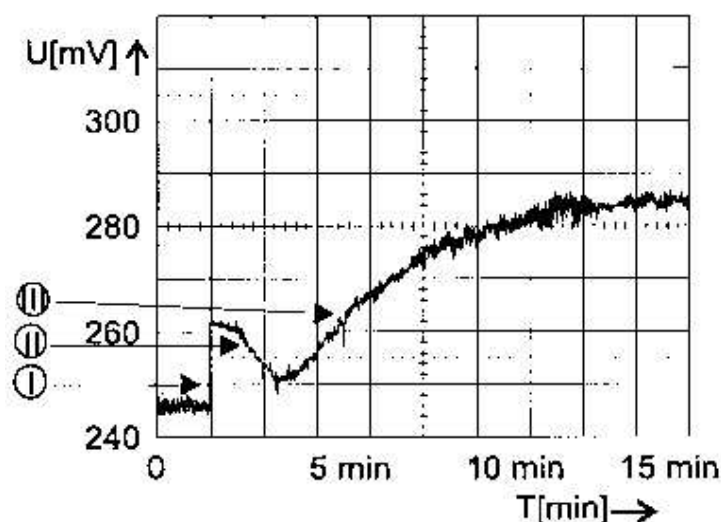


Рис.4. – Интенсивность отраженного луча, когда ранее измельченный образец (с абразивами № 400) дополнительно измельчается с абразивами # 800

Во втором эксперименте оптическая плоскость (Вк7), предварительно измельченная на водной суспензии, содержащей абразивные материалы размером 800 мкм, полировали с помощью СОТС на водной основе, содержащей абразивы из оксида церия. Следы осциллографа двух из этих экспериментов показаны на рис. 5; след на рисунке 5 а) показывает длительное прерывание ожидаемой кривой. Первоначально наблюдается небольшое уменьшение [точки (I)] в измеренной интенсивности, за которой следует нерегулярная часть с низкой интенсивностью [точка (II)]. Это прерывание произошло из-за того, что на поверхности не было достаточного количества СОТС, и процесс был сухим, создавая царапины на поверхности. После добавления новой СОТС процесс вернется к ожидаемому пути. Уменьшение [точка (III)] в интенсивности, обнаруженной на более поздней стадии, использовалось в качестве предупредительного сигнала для добавления новой СОТС в процесс полирования. Результат эксперимента без прерывания полирования показан на рисунке 5 б); здесь было добавлено достаточное количество СОТС. Неровности при 130-160 мин обусловлены уменьшением количества СОТС на поверхности (сухое шлифование) с последующим добавлением большего количества СОТС. Таким образом, можно утверждать, что иОВРМ - это измерительный инструмент для контроля уменьшения шероховатости поверхности и чувствительный к количеству присутствующей смазки, что дает возможность выдавать предупредительный сигнал, когда поверхность недостаточно смазана; то есть его можно использовать в качестве датчика.

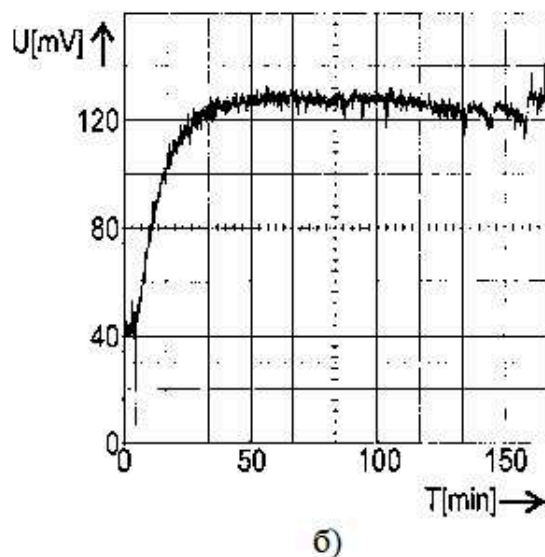
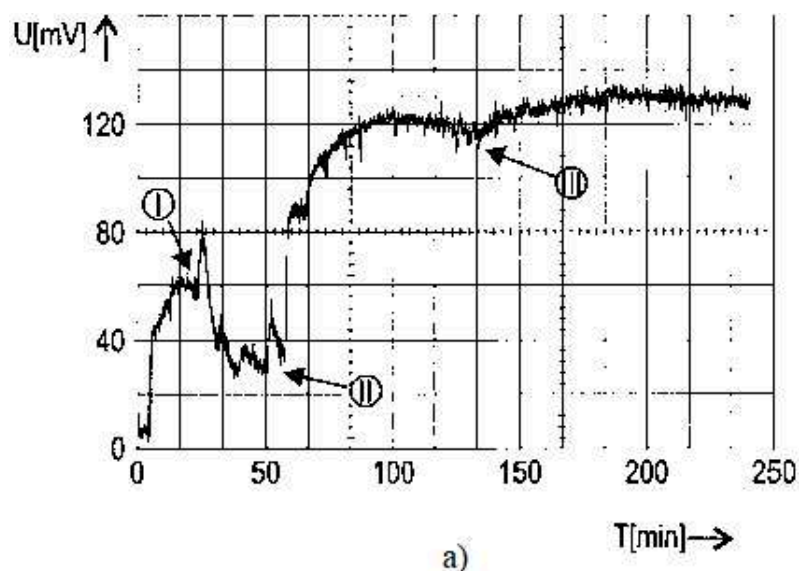


Рис. 5 – Интенсивность отраженного луча при полировании ранее шлифованной оптической плоской (абразивы № 800): а) с дефицитом суспензии во время процесса полировки б) с достаточным количеством суспензии во время процесса полировки

4. Выводы

Метод измерения иОВРМ способен контролировать процессы шлифования и полирования во время обработки, но его использование ограничивается прозрачностью материалов заготовки. Его возможности для измерений во время обработки делают его ценным инструментом для исследования процессов изменения шероховатости в цехе изготовления оптических деталей и для контроля процессов шероховатости. Процессы можно остановить, как только интенсивность достигнет определенного градуированного уровня или когда интенсивность перестанет увеличиваться, что соответствует ситуации, когда достигнута окончательная шероховатость. Из-за этих свойств метод иОВРМ может использоваться для уменьшения

времени обработки. Эксперименты по полированию показали, что иОВРМ также может использоваться для обнаружения, когда в процесс необходимо добавить новую суспензию, что минимизирует стоимость изготовления.

Измерительная система иОВРМ, интегрированная с шлифовальным станком, может упростить и автоматизировать изготовление оптических деталей для снижения производственных затрат за счет минимизации времени изготовления и предотвращения недостаточности технологической среды.

Необходимость полированной стороны на обработанном оптическом компоненте и необходимость предотвращения от препятствия оптическому пути могут быть устранены путем интеграции лазера и датчика во вращающийся держатель образца. Таким образом, измерительная установка может быть построена более стабильным способом, и шум измерения, вызванный вращением образца, может быть подавлен.

Метод иОВРМ проверяет только небольшую площадь общей поверхности, что является разумным, поскольку процессы восстановления шероховатости считаются однородными по всей поверхности. Таким образом, метод контроля не ограничивается оптическими плоскостями; выпуклые и вогнутые поверхности также могут быть проверены, если небольшая область осмотра берется вблизи горизонтальной вершины изогнутой поверхности, если угол падения лазерного луча превышает критический угол для полного внутреннего отражения.

Ссылки

1. P. Temple, "Total internal reflection microscopy: a surface inspection technique," *Appl. Opt.* 20, 2656-2664 (1981).
2. R. M. van der Bijl, O. W. Fahnle, and H. van Brug, "Subsurface damage measurements as a tool for process monitoring," in *Proceedings of ASPE 1999 Annual Meeting (American Society for Precision Engineering, Raleigh, NC, 1999)*, 606-609.