

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В ЗОНЕ КОНТАКТА ИНСТРУМЕНТА С ЗАГОТОВКОЙ

© 2017

А.В. Щипанов, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Управление промышленной и экологической безопасностью»
Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)

Ключевые слова: финишная обработка; хрупкие неметаллические материалы; оптическое стекло; свободный абразив; связанный абразив; оптические детали; смазочно-охлаждающая жидкость.

Аннотация: Актуальность выбранного для исследования вопроса обоснована тем, что при производстве оптических деталей на смену обработке с применением свободного абразива приходят процессы, основанные на использовании инструментов со связанным абразивом. Однако повышение производительности приводит к проблемам обеспечения качества поверхностного слоя. Это вызвано тем, что интенсификация процесса снятия припуска неразрывно связана с увеличением тепловыделения в зоне контакта инструмента с заготовкой.

В работе приводится методика исследования и полученные результаты наблюдений особенностей поведения смазочно-охлаждающей жидкости в зоне контакта инструмента с заготовкой. Температуры в зоне обработки оптических материалов во многом определяют качество обработанной поверхности. В этих процессах смазочно-охлаждающая жидкость играет одну из основных ролей. Без достоверного учета смазочно-охлаждающей жидкости и ее поведения невозможно разработать достоверную теплофизическую модель процесса обработки.

Для прямого наблюдения за поведением смазочно-охлаждающей жидкости в зоне контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью автором разработан способ, основанный на использовании стробоскопического эффекта. Импульсная лампа устанавливается таким образом, чтобы происходило полное внутреннее отражение от рабочей поверхности призмы. При контакте какого-либо тела с этой поверхностью полное внутреннее отражение нарушается и наблюдается темное пятно с геометрическими параметрами фактического контакта. При помощи установки можно наблюдать за зоной обработки. Проведенные исследования позволяют заключить, что в зоне обработки смазочно-охлаждающая жидкость присутствует постоянно. Все зоны непосредственного контакта инструмента и заготовки окружены ей. При применяемых скоростях резания за отдельными зонами контакта, при использовании смазочно-охлаждающей жидкости на основе воды нет зон, свободных от нее.

Традиционно при производстве высокоточных деталей из хрупких неметаллических материалов, например оптических деталей, применяются инструменты со свободными зёрнами шлифующих и полирующих порошков. Оптические детали – это детали, служащие для пропускания, отражения световых пучков, изменения их спектрального состава, направления, скорости или свойств [1; 2]. Процесс обработки оптических поверхностей является многоступенчатым: от абразивного шлифования до сверхтонкого полирования с постепенным уменьшением зернистости абразивного материала, в качестве которого применяют электрокорунды, синтетические сверхтвёрдые материалы, оксиды редкоземельных элементов и т. д. [3–5].

Обработке инструментом со свободными зёрнами присущ целый ряд недостатков [6]. К основным недостаткам следует отнести сравнительно низкие производительность и культуру производства, большой удельный расход дорогостоящих порошков, нестабильность и малую управляемость процесса. Это сильно затрудняет процесс автоматизации производства [7; 8], поэтому в настоящее время для обработки таких заготовок все более широко применяются инструменты со связанными зёрнами шлифующих и полирующих порошков [9; 10].

Однако наряду с очевидными преимуществами применения таких инструментов при работе с ними приходится сталкиваться и с целым рядом сложных ситуаций. Например, повышение скорости обработки и применение связанного абразива вызывает проблемы в деле обеспечения качества обработанной поверхности и, прежде всего, качества поверхностного слоя, так как

интенсификация процесса снятия припуска неразрывно связана с увеличением тепловыделения в зоне контакта инструмента с заготовкой. Причем роль теплового фактора двояка: с одной стороны, при увеличении контактных температур снижается предел прочности обрабатываемого материала, активизируются химические процессы, а с другой, возникающие при этом термические напряжения могут в некоторых случаях приводить к образованию дефектного поверхностного слоя и повышенному износу инструмента. Все вышеперечисленное подтверждает актуальность исследования теплофизических явлений, происходящих в контактной зоне.

Обзор работ, посвященных изучению процессов происходящих при шлифовании и полировании заготовок из оптического стекла с целью получения оптических поверхностей, позволяет сделать следующие выводы: обработка оптических поверхностей организованным инструментом является перспективным методом при получении высококачественных оптических поверхностей; теплофизическая обстановка в контактной зоне оказывает существенное влияние как на процесс съема припуска, так и на формирование параметров качества обработки. Причем роль теплового фактора двояка: с одной стороны активизируются химические процессы, что можно считать положительным, а с другой, возникают термические напряжения, приводящие в некоторых случаях к образованию дефектного микрослоя.

Вместе с тем работам, посвященным вопросам финишной обработки стекла, присущи следующие недостатки:

– до настоящего времени нет единого взгляда на механизм снятия припуска при полировании стекла организованным инструментом;

– фактически не изучена теплофизика этого процесса;

– отсутствуют методики изучения контакта инструмента с заготовкой в процессе полирования и, в частности, поведения в зоне обработки смазочно-охлаждающей жидкостью (далее – СОЖ) на водной основе;

– не изучены теплофизические свойства полировальных инструментов.

Эти, а также ряд других недостатков не позволяют разработать теплофизическую модель обработки заготовок из оптического стекла инструментом со связанными зернами без проведения целого комплекса дополнительных исследований.

В связи с этим в статье поставлена задача исследовать поведение и разработать методику в зоне контакта СОЖ на водной основе при обработке.

Создавая теплофизическую модель процесса обработки хрупких неметаллических заготовок инструментом со связанными зернами, необходимо достоверно описать поведение СОЖ как на обрабатываемой поверхности, так и непосредственно в зоне контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью. Особый интерес представляет вопрос о проникновении СОЖ в зону контакта полировального инструмента и заготовки. Его решение позволит полнее раскрыть ряд особенностей съема припуска и формирования контактных температур.

Вопросы механизмов влияния СОЖ на процесс шлифования достаточно подробно рассмотрены в литературе. Например, влияние СОЖ на процесс абразивной обработки металлов изучали А.Н. Паршаков [11], В.А. Сипайлов [12], Т.Н. Лоладзе [13], Л.В. Худобин [14] и многие другие. Теплофизическим аспектам работы с СОЖ большое внимание уделено А.Н. Резниковым [15; 16]. Теплофизическая схема контакта инструмента с заготовкой при шлифовании с применением СОЖ предложена в работе [17].

Влияние СОЖ на физические процессы, проходящие в зоне шлифования, с учетом снижения прочностных характеристик рассматривается в работе [18].

В зоне обработки протекает несколько процессов одновременно [19]. При этом тепловой процесс определяющий [20].

Следует отметить, что большинство работ изучают обработку металлов. Вопросам влияния СОЖ на процессы обработки заготовок из хрупких неметаллических материалов посвящено незначительное число исследований.

Большинство авторов, занимающихся теплофизикой шлифования, считают, что охлаждающее действие СОЖ проявляется в основном не в зоне контакта инструмента с заготовкой, а вне ее. Поэтому теплофизическая схема зоны контакта представляется, как правило, в виде сложного по форме источника тепла, в лучшем случае – дискретного, но без стока тепла в СОЖ непосредственно в зоне контакта. Однако практика показывает, что применение СОЖ в некоторых случаях и особенно при финишной обработке существенным образом снижает контактную температуру.

Для прямого наблюдения за поведением СОЖ в зоне контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью

автором разработан способ, основанный на использовании стробоскопического эффекта. Одна из разновидностей реализации этого способа приведена на рис. 1.

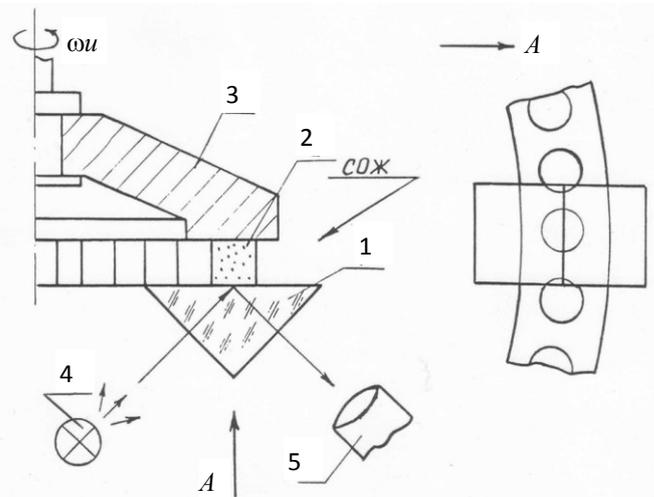


Рис. 1. Схема устройства для изучения поведения СОЖ в зоне обработки:

- 1 – заготовка; 2 – полировальные элементы;
- 3 – корпус; 4 – стробоскопическая лампа;
- 5 – окуляр микроскопа

Устройство состоит из заготовки в форме призмы 1, которая изготавливается из оптически прозрачного стекла; полировальных элементов 2, равномерно наклеенных на корпус 3. Источником света служит стробоскопическая лампа 4. Наблюдение осуществляется через окуляр микроскопа 5.

Корпус 3 с наклеенными полировальными элементами 2 вращается и прижимается к призме 1 с фиксированной силой. Световые импульсы лампы 4 синхронизируются с частотой вращения инструмента. Это позволяет наблюдать неподвижную картину контакта инструмента с призмой и детально исследовать ее геометрические особенности.

Импульсная лампа устанавливается таким образом, чтобы происходило полное внутреннее отражение от рабочей поверхности призмы. При контакте с этой поверхностью какого-либо тела полное внутреннее отражение нарушается и наблюдается темное пятно с геометрическими параметрами фактического контакта [21].

Данная установка позволяет изучить поведение СОЖ в зоне контакта, а также проследить изменение обрабатываемой поверхности.

В качестве СОЖ использовалась вода с подачей на обрабатываемую поверхность с расходом 15 л/ч.

Применение стробоскопического эффекта позволило наблюдать за поведением одного и того же участка полировального круга или просматривать всю его рабочую поверхность с замедленной скоростью.

В результате наблюдения за поведением СОЖ в контактной зоне при помощи описанной выше установки можно сделать следующие выводы:

- СОЖ присутствует в контактной зоне постоянно;
- все выступы рабочей части инструмента, контактирующие с заготовкой, окружены СОЖ;

– за отдельными выступами, при использовании маловязких СОЖ на основе воды, нет зон, свободных от жидкости;

– течение СОЖ можно считать ламинарным;

– кипения СОЖ не наблюдается.

Использование полученных результатов позволяет разрабатывать более достоверные модели теплофизических процессов обработки и находить режимы резания, приближенные к оптимальным [22].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеенко М.Д., Бараночников М.Л. Приемники оптического излучения. М.: Радио и связь, 1977. 296 с.
2. Химическая технология стекла и ситаллов / под ред. Н.М. Павлушкина. М.: Стройиздат, 1983. 432 с.
3. Качалов Н.Н. Технология шлифовки и полировки стекла. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1958. 214 с.
4. Зверев В.А., Кривоустова Е.В., Точилина Т.В. Оптические материалы. Ч. 1. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. 244 с.
5. Зверев В.А., Кривоустова Е.В., Точилина Т.В. Оптические материалы. Ч. 2. СПб.: СПб НИУ ИТМО, 2013. 248 с.
6. Зубков В.Г., Семибратов М.Н., Штандель С.К. Технология оптических деталей. М.: Машиностроение, 1985. 368 с.
7. Бардин А.Н. Технология оптического стекла. М.: Высшая школа, 1963. 519 с.
8. Справочник технолога-оптика / под ред. М.А. Окатова. СПб.: Политехника, 2004. 679 с.
9. Рогов В.В. Финишная алмазно-абразивная обработка неметаллических деталей. Киев: Наукова думка, 1985. 264 с.
10. Глаголев С.П. Кварцевое стекло. Его свойства, производство и применение. СПб.: Книга по Требованию, 2012. 106 с.
11. Паршаков А.Н., Напарьин Ю.А., Потемкин В.И., Ярмонов Н.А. Аналитические методы исследования тепловых явлений при шлифовании. Пермь: ПГУ, 1977. 72 с.
12. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. М.: Машиностроение, 1978. 167 с.
13. Лоладзе Т.Н., Бокучава Г.В. Износ алмазов и алмазных кругов. М.: Машиностроение, 1967. 112 с.
14. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием / под ред. Л.В. Худобина. М.: Машиностроение, 2006. 544 с.
15. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. М.: Машиностроение, 1981. 279 с.
16. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. М.: Машиностроение, 1990. 288 с.
17. Щипанов В.В., Щипанов А.В. Теплофизическая схема контакта инструмента с заготовкой при шлифовании с применением СОЖ // Смазочно-охлаждающие жидкости в процессах абразивной обработки: сб. науч. тр. Ульяновск: Ульяновский политех. институт, 1992. С. 11–15.
18. Агапов С.И. Интенсификация процесса обработки труднообрабатываемых материалов при введении

ультразвуковых колебаний в зону резания. Волгоград: ВолгГТУ, 2009. 78 с.

19. Островский В.И., Савицкая В.Г. О взаимосвязи физических процессов при шлифовании // Межвузовский сборник научных трудов. Пермь: Изд-во ППИ, 1986. С. 3–9.
20. Совкин В.Ф., Быков Е.В., Бударин А.М., Бударина Г.И. Шлифование легированных и жаропрочных сталей. Куйбышев: Куйбышевское кн. изд-во, 1967. 160 с.
21. Рассел Д. Призма (оптика). СПб.: Книга по Требованию, 2013. 105 с.
22. Щипанов А.В. Определение температурных ограничений при финишной обработке хрупких неметаллических материалов // Теплофизические и технологические аспекты повышения эффективности машиностроительного производства: труды IV междунар. науч.-техн. конф. Тольятти: ТГУ, 2015. С. 129–132.

REFERENCES

1. Alekseenko M.D., Baranochnikov M.L. *Priemniki opticheskogo izlucheniya* [Optical receivers]. Moscow, Radio i svyz' Publ., 1977. 296 p.
2. Pavlushkin N.M., ed. *Khimicheskaya tekhnologiya stekla i sitallov* [Process chemistry of glass and glass ceramic]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1983. 432 p.
3. Kachalov N.N. *Tekhnologiya shlifovki i polirovki stekla* [Technology of glass sanding and polishing]. Moscow-Leningrad, AN SSSR Publ., 1958. 214 p.
4. Zverev V.A., Krivopustova E.V., Tochilina T.V. *Opticheskie materialy* [Optical materials]. St. Petersburg, SPbGU ITMO Publ., 2009. Part 1, 244 p.
5. Zverev V.A., Krivopustova E.V., Tochilina T.V. *Opticheskie materialy* [Optical materials]. St. Petersburg, SPbGU ITMO Publ., 2013. Part 2, 248 p.
6. Zubkov V.G., Semibratov M.N., Shtandel' S.K. *Tekhnologiya opticheskikh detaley* [Technology of optical parts]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 368 p.
7. Bardin A.N. *Tekhnologiya opticheskogo stekla* [Optical glass technology]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1963. 519 p.
8. Okatova M.A., ed. *Spravochnik tekhnologa-optika* [Reference book of engineer-optician]. St. Petersburg, Politehnika Publ., 2004. 679 p.
9. Rogov V.V. *Finishnaya almazno-abrazivnaya obrabotka nemetallicheskih detaley* [Diamond-abrasive finishing of non-metal parts]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1985. 264 p.
10. Glagolev S.P. *Kvartsevoe steklo. Ego svoystva, proizvodstvo i primeneniye* [Quartz glass. Its properties, production and application]. St. Petersburg, Kniga po trebovaniyu Publ., 2012. 106 p.
11. Parshakov A.N., Naparyin Yu.A., Potemkin V.I., Yarmonov N.A. *Analiticheskie metody issledovaniya teplovykh yavleniy pri shlifovanii* [Analytical methods of study of thermal effects during finishing]. Perm, PGU Publ., 1977. 72 p.
12. Sipaylov V.A. *Teplovye protsessy pri shlifovanii i upravleniye kachestvom poverkhnosti* [Thermal processes during polishing and surface quality management]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978. 167 p.

13. Loladze T.N., Bokuchava G.V. *Iznos almazov i almaznykh krugov* [Wear of diamonds and diamond wheels]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1967. 112 p.
14. Khudobin L.V., ed. *Smazochno-okhlazhdayushchie tekhnologicheskie sredstva i ikh primeneniye pri obrabotke rezaniem* [Cooling and lubricating fluids and their application when cutting]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2006. 544 p.
15. Reznikov A.N. *Teplofizika protsessov mekhanicheskoy obrabotki materialov* [Thermal physics of mechanical processing of materials]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1981. 279 p.
16. Reznikov A.N., Reznikov L.A. *Teplovye protsessy v tekhnologicheskikh sistemakh* [Thermal processes in technological systems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990. 288 p.
17. Shchipanov V.V., Shchipanov A.V. Thermophysical scheme of contact of tool and workpiece when finishing using lubricating fluids. *Sbornik nauchnykh trudov "Smazochno-okhlazhdayushchie zhidkosti v protsessakh abrazivnoy obrabotki"*. Ulyanovsk, Ulyanovskiy polit. institut Publ., 1992, pp. 11–15.
18. Agapov S.I. *Intensifikatsiya protsessa obrabotki trudnoobrabatyvaemykh materialov pri vvedenii ultrazvukovykh kolebaniy v zonu rezaniya* [Process intensification of treatment of hard-to-treat materials when introducing ultrasonic vibrations to the cutting area]. Volgograd, VolgGTU Publ., 2009. 78 p.
19. Ostrovsky V.I., Savitskaya V.G. About interrelation of physical processes during polishing. *Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov*. Perm, PPI Publ., 1986, pp. 3–9.
20. Sovkin V.F., Bykov E.V., Budarin A.M., Budarina G.I. *Shlifovanie legirovannykh i zharoprochnykh staley* [Grinding of alloyed and heat-resistant steels]. Kuybyshev, Kuybyshevskoe kn. izdatelstvo Publ., 1967. 160 p.
21. Rassel D. *Prizma (optika)* [Prism (optics)]. St. Petersburg, Kniga po trebovaniyu Publ., 2013. 105 p.
22. Shchipanov A.V. Identification of temperature limits when finishing brittle non-metal materials. *Trudy IV mezhdunar. nauch.-tekhn. konferentsii "Teplofizicheskie i tekhnologicheskie aspekty povysheniya effektivnosti mashinostroitel'nogo proizvodstva"*. Togliatti, TGU Publ., 2015, pp. 129–132.

FRACTURING BEHAVIOR OF LUBRICATING-COOLING FLUID IN THE CONTACT AREA OF THE TOOL AND THE WORKPIECE

© 2017

A.V. Shchipanov, PhD (Engineering),
assistant professor of Chair "Management of industrial and ecological safety"
Togliatti State University, Togliatti (Russia)

Keywords: finishing; brittle non-metal materials; optical glass; loose abrasive; fixed abrasive; optical parts; lubricating-cooling fluid.

Abstract: The relevance of the issue selected for the study is proved by the fact that, when producing optical parts, the treatment using loose abrasive is replaced with the processes based on the application of fixed abrasive. However, the increase in efficiency causes the issues of the surface layer quality assurance. It is caused by the fact that the intensification of the stock removal process is inextricably connected with the heat output increase in the contact area of a tool with a workpiece.

The paper presents the methodology of the study and the obtained observation results of fracturing behavior of lubricating-cooling fluid in the contact area of a tool and a workpiece. The temperatures in the area of treatment of optical materials determine considerably the quality of treated surface. During these processes, the lubricating-cooling fluid plays one of the key roles. It is impossible to develop the exact thermophysical model of the process of treatment without the true recording of lubricating-cooling fluid and its behavior.

For the direct vision of the lubricating-cooling fluid behavior in the contact area of a tool with the treated surface, the author developed the method based on the strobing freeze application. A pulsed lamp is installed in such a way that the total internal reflection from the prism working surface would take place. In case, some body contacts with this surface, the total internal reflection gets broken and the dark spot with the actual contact geometrics can be observed. Using the device, it is possible to observe the treatment area. Carried out study allows concluding that the lubricating-cooling fluid is constantly present in the treatment area. All areas of the direct contact of a tool and a workpiece are surrounded with it. When using water-based lubricating-cooling fluid, there are no areas free of it at the applied velocity of cutting out of certain contact areas.