

## ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ НА СЕРИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПОЛИРОВАЛЬНО-ДОВОДОЧНЫХ СТАНКОВ

© 2011 г. Л. К. Глеб\*, канд. техн. наук; Г. Р. Городкин\*, В. А. Горшков\*\*, канд. техн. наук;  
Ф. П. Хлебников\*\*, канд. техн. наук; Е. В. Семенов\*\*

\* Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова Национальной академии наук Белоруссии,  
Минск, Белоруссия

\*\* Научно-производственное объединение “Оптика”, Москва

E-mail: gleb@hmti.ac.by, optik@nprooptica.ru

Разработаны макеты двух видов модулей магнитореологического полирования для серии полировально-доводочных станков: моноблочный – для обрабатываемой детали, расположенной над полировальным инструментом, и разнесенный – для детали, расположенной под полировальным инструментом. Проведены испытания работы модулей при магнитореологической обработке образцов оптических деталей.

**Ключевые слова:** магнитное поле, магнитореологический эффект, модуль магнитореологического полирования, магнитореологическая полировальная жидкость, реологические свойства.

Коды OCIS: 220.4610

Поступила в редакцию 07.07.2010

Полировально-доводочные станки серии АПД (автоматизированные полировально-доводочные) в настоящее время используют полировальные инструменты на смоляной основе. С целью расширения возможностей этих станков предлагается использовать в них в качестве полирующего инструмента магнитореологическую жидкость.

Магнитореологический (МР) метод обработки поверхностей оптических деталей применяется в основном при финишных операциях формообразования с целью достижения оптимальных параметров поверхности как по отклонениям формы поверхности, так и по шероховатости [1–3].

Обработка производится с помощью магнитореологической жидкости (МРЖ) – суспензии, содержащей частицы железа микрометровых размеров, абразив и воду с необходимыми добавками (ингибиторами коррозии, стабилизаторами и диспергаторами). На пути движения МРЖ в зоне контакта с обрабатываемой поверхностью создается магнитное поле, в котором магнитореологическая жидкость изменяет свою вязкость и осуществляет обработку поверхности. МРЖ на выходе из магнитного поля вновь приобретает разжиженное состояние и направляется для повторения цикла обработки в систему подготовки и подачи суспензии.

При этом поддерживается постоянство вязкости, давления и температуры в системе подачи МРЖ, обеспечивая сохранение постоянства полирующих свойств.

Управление процессом обработки проводится компьютером, использующим информацию об отклонениях формы рабочей поверхности и рассчитывающим координаты, время и требуемую функцию съема в обрабатываемой рабочей зоне детали.

Преимуществом МР технологии является использование МР полирующего инструмента с заданными физико-химическими свойствами путем воздействия магнитного поля на абразивную жидкость. Благодаря физическим свойствам структуроуправляемой намагничивающейся среды, таким как пластичность, упругость, вязкоупругость, которые проявляются при воздействии на нее магнитного поля, сформировавшийся полировальный инструмент обладает качествами, позволяющими обрабатывать поверхность любой формы (плоскость, сфера, асферика).

Такой метод обработки, не нарушая чистоту полированной поверхности, позволяет сравнительно быстро достигать шероховатости поверхности до 3–5 Å.

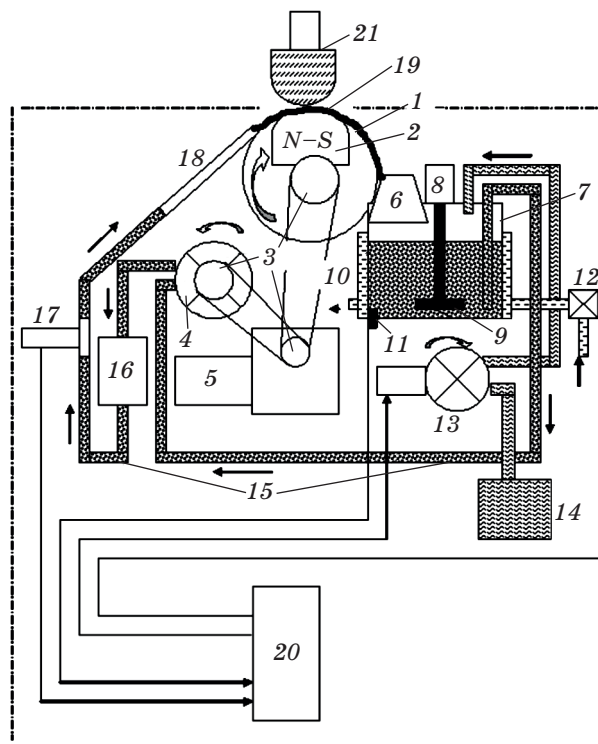
Для реализации магнитореологического полирования оптических деталей на полиро-

вально-доводочных станках серии АПД разработаны макеты модулей МР полирования. МР модуль представляет собой устройство, обеспечивающее подготовку магнитореологической жидкости в специальной емкости (бачке), подачу МРЖ в зону обработки, изменение ее вязкости в области контакта с обрабатываемой поверхностью, сбор жидкости после прохождения зоны обработки и возврат ее в бачок.

В настоящей работе описаны макеты двух видов модулей МР полирования для станков серии АПД: моноблочный – для обрабатываемой детали, расположенной над полировальным инструментом, и разнесенный – для детали, расположенной под полировальным инструментом. Разнесенный вариант МР модуля предназначен для обработки крупногабаритных оптических деталей.

На рис. 1 представлена схема моноблочного варианта модуля МР полирования. Рабочее колесо 1 приводится во вращение электродвигателем с редуктором 5 посредством ременной передачи и шкивов 3. Одновременно ведущий вал редуктора через шкивы и ременную передачу передает вращение подающему перистальтическому насосу 4. Подающий насос захватывает из бачка 7 МРЖ и через гаситель гидравлических пульсаций 16 и сопло 18 осуществляет непрерывный впрыск МРЖ 19 на рабочее колесо. Под воздействием магнитного поля, создаваемого магнитной системой 2, МРЖ преобразуется из жидкой суспензии в вязкопластичную и проводит обработку оптической детали 21. Затем поток МРЖ выходит из зоны действия магнитной системы, снова преобразуется в жидкость, снимается с рабочего колеса с помощью съемника 6 и самотеком попадает в бачок 7. Здесь МРЖ перемешивается миксером 8, который вращает крыльчатку 9. Рубашка охлаждения 10, термодачик 11, электроклапан 12, перистальтический насос дозатора 13, емкость дозатора с водой для добавки в МРЖ 14, соединительные трубки 15, гаситель гидравлических пульсаций 16, датчик гидравлического давления 17, процессор 20.

В процессе полирования часть несущей водной основы МРЖ испаряется с рабочего колеса и теряется за счет смачивания поверхности оптической детали. Периодическое добавление воды в МРЖ с целью сохранения постоянства вязкости и, следовательно, постоянства полирующих свойств осуществляется перистальтическим насосом дозатора 13, который подпитывается из емкости 14. Датчик 17 служит для контроля постоянства давления в системе подачи МРЖ. В процессе длительной работы необходимо поддерживать требуемый температурный диапазон МРЖ. Теплообмен регулируется с помощью водяной рубашки 10,



**Рис. 1.** Схема моноблочного модуля МР полирования. 1 – рабочее колесо, переносящее струю МРЖ в зону обработки, 2 – магнитная система, обеспечивающая концентрацию магнитных силовых линий в зоне контакта МРЖ с обрабатываемой поверхностью, 3 – шкивы, 4 – перистальтический насос, подающий МРЖ на рабочее колесо, 5 – электродвигатель с редуктором, 6 – съемник МРЖ, 7 – бачок для подготовки и перемешивания МРЖ, 8 – миксер для перемешивания МРЖ в бачке, 9 – крыльчатка, 10 – рубашка охлаждения, 11 – термодачик, 12 – электроклапан воды охлаждения, 13 – перистальтический насос дозатора, 14 – емкость дозатора с водой для добавки в МРЖ, 15 – соединительные трубки, 16 – гаситель гидравлических пульсаций, 17 – датчик гидравлического давления, 18 – сопло, 19 – МРЖ, 20 – процессор, 21 – оптическая деталь.

которая расположена вокруг наружной стенки бачка, в нее поступает холодная вода через электроклапан 12. Работа электроклапана и дозатора управляется процессором 20. Температура МРЖ контролируется датчиком 11. Внешний вид моноблочного варианта МР модуля представлен на рис. 2.

Основным отличием разнесенного варианта МР модуля от моноблочного является наличие собственных приводов у всех перистальтических насосов (включая откачивающий насос). Вращение рабочего колеса модуля осуществляется в этом случае шпинделем станка (рис. 3).



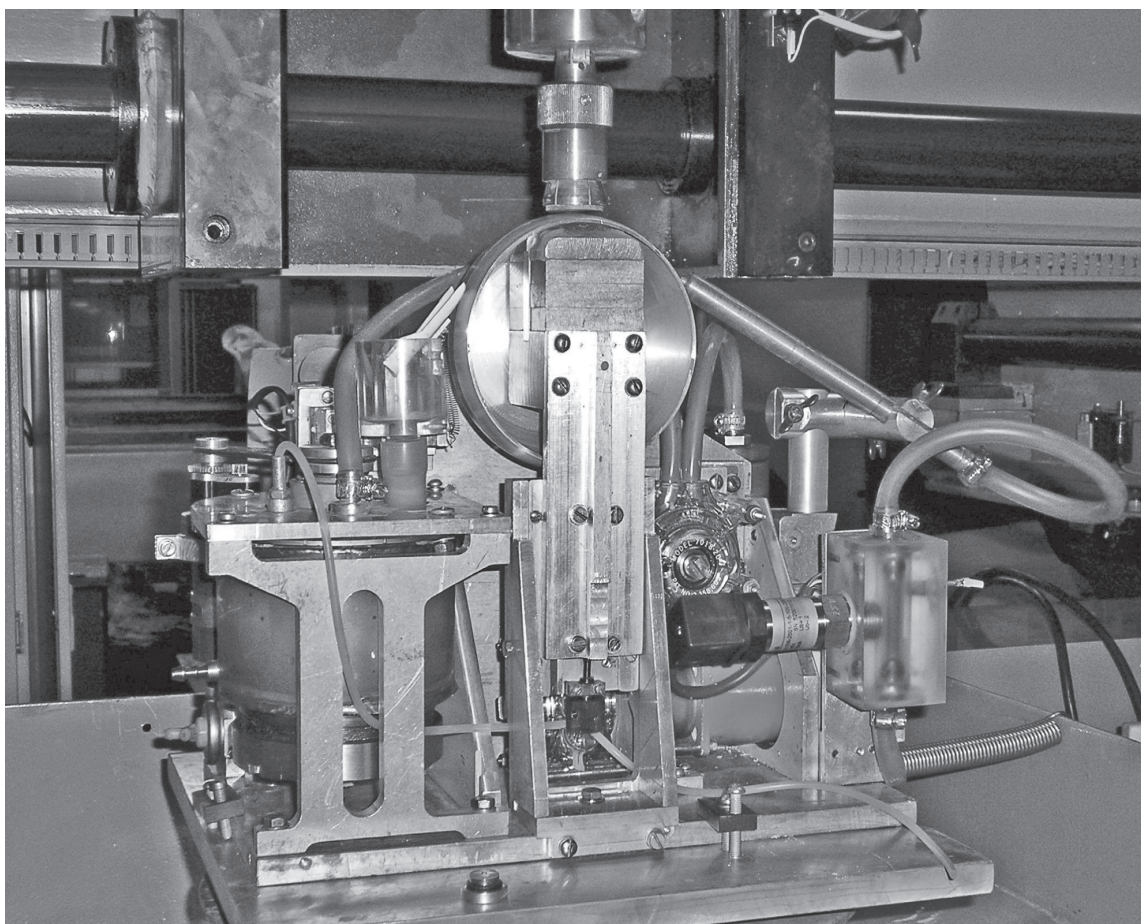


Рис. 2. Внешний вид моноблочного МР модуля.

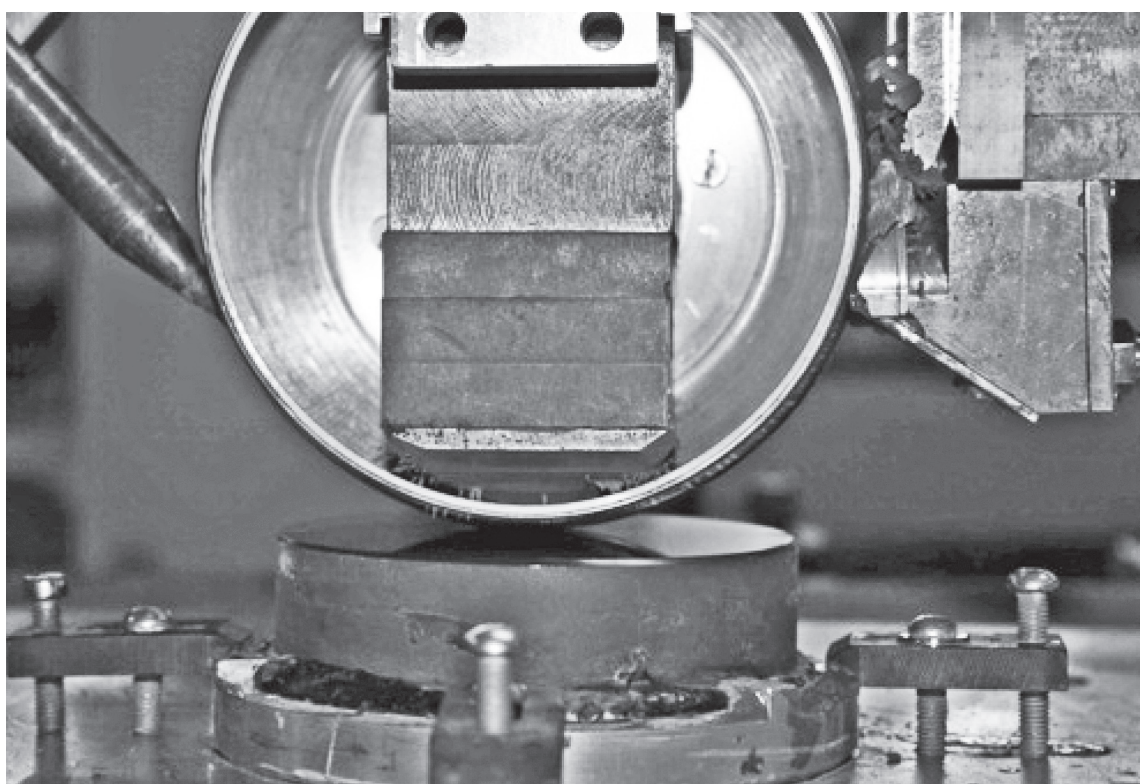


Рис. 3. Внешний вид разнесенного МР модуля.

Основные технические характеристики магнитореологического модуля

Наименование показателя	Значение показателя
рабочий объем МРЖ, л	0,6
расход подачи МРЖ, л/мин	0,45–0,6
давление в сопле подачи МРЖ, МПа, не более	1,1 + 0,1
диаметр сопла подачи МРЖ, мм	3
напряженность магнитного поля в точке контакта струи МРЖ с обрабатываемой поверхностью, Тл	0,3
скорость вращения рабочего колеса диаметром 130 мм, с <sup>-1</sup> (об/мин)	2,4 ± 0,05 (145 ± 3)
крутящий момент на валу двигателя рабочего колеса, Нм, не менее	0,8
биение рабочего колеса на заданных скоростях, мм, не более	0,015
биение струи рабочей суспензии на рабочем колесе, мм, не более	0,05
объем бачка для перемешивания МРЖ, л	0,8
скорость вращения миксера в бачке для МРЖ, с <sup>-1</sup> (об/мин)	1–10 (60–600)
температура МРЖ в миксере, °С	24 ± 2
напряжение питания модуля, В	220
частота, Гц	50
потребляемая мощность, кВт	0,5

Основные технические характеристики МР модуля приведены в таблице.

В зависимости от технологической операции в гидросистему модуля заливаются различные МРЖ с абразивным наполнителем, соответствующим технологической операции и техническим требованиям к обрабатываемой поверхности. МРЖ состоит из твердой и жидкой фаз. Составляющие твердой фазы: карбонильное железо со средним размером частиц 1–4 мкм и абразив фракций 10/7 мкм, 7/5 мкм, 5/3 мкм – для тонкой шлифовки и фракции 3/1 мкм, 1/0 мкм или более тонкие фракции – для полировки. В жидкой фазе помимо воды находятся растворенные сода ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), глицерин, поверхностно-активное вещество (ПАВ). Сода является ингибитором коррозии карбонильного железа в жидкой фазе, глицерин служит стабилизатором, с помощью которого достигается коагуляционная и седиментационная

устойчивость МРЖ, ПАВ усиливает диспергирующие свойства МРЖ, увеличивая наряду с глицерином седиментационную устойчивость суспензии и срок ее эксплуатации. Компоненты МРЖ транспортируются и хранятся в двух емкостях. В одной емкости находится только карбонильное железо, в другой – все остальные составляющие МРЖ. Компоненты смешиваются непосредственно перед заливкой в бачок модуля.

### Испытание макета МР модуля

На станке АПД-500 с помощью размещенного на нем моноблочного МР модуля была проведена магнитореологическая полировка поверхностей деталей из стекла К8 и ситалла с использованием двух видов МРЖ – на основе микропорошка диоксида церия фракции 3/1 (МРЖ-С) и на основе алмазного микропорошка фракции 0,5/0 (МРЖ-А).

Магнитореологическая обработка проведена с зазором между поверхностью детали и рабочим колесом 1,5 мм при скорости потока МРЖ 1 м/с и скорости движения детали. Скорость обработки 400 мм/мин. Скорость съема материала (стекла К8) в пятне контакта (размеры пятна приблизительно 6×12 мм) составила 0,04 мкм/с в точке наибольшего съема. Результаты измерений шероховатости до и после обработки деталей показали снижение шероховатости в два раза.

В настоящее время проводятся дальнейшие исследования с целью подбора режимов обработки для достижения шероховатости поверхности до 3–5 Å, а также ведется подготовка к опробованию модуля с верхним расположением МР инструмента для обработки оптических деталей диаметром до 500 мм.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Глеб Л.К. Микромеханика процесса финишной обработки оптики с использованием структуроуправляемых намагничивающихся сред // Передовой опыт. 1990. № 3. С. 2–3.
2. Shorey A.B. Исследования и наблюдения механизмов съема стекла при финишной магнитореологической обработке // Appl. Opt. 2001. V. 40. № 1. С. 20–33.
3. Глеб Л.К., Мансуров В.А., Городкин Г.Р., Хлебников Ф.П., Подобрянский А.В. Устройство для полирования поверхностей изделий // Патент на полезную модель России № 68409. 2007.