



Мокеєв А. А.

Коробко Е. В.

Барташевич М. А.

*Институт тепло-и  
массообмена  
им. А.В. Лыкова  
Национальной академии  
наук Беларуси*

Мокеєв А. А.

Korobko E. V.

Bartashevich M. A.

*A.V. Luikov Heat and  
Mass Transfer Institute  
of the National Academy  
of Sciences of Belarus*

УДК 583.185:588.4:532.135

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЪЕМА МАТЕРИАЛА ПРИ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКОГО ПОЛИРОВАЛЬНИА

*Рассмотрена задача съема материала с поверхности обрабатываемой методом магнитореологического финишного полирования оптической детали. Показано, что при высоких давлениях поджима со стороны магнитных частиц и скорости течения струи полировальной жидкости съем материала с поверхности детали сопровождается эрозией и может использоваться при первичной, более «грубой» обработке её поверхности. Моделируется процесс полирования без эрозии, при котором съем материала осуществляется равномерно по площади детали вследствие снятия только выступов над её поверхностью. Рассчитан неопределенный коэффициент в известной формуле скорости съема материала детали при магнитореологическом полировании.*

*Ключевые слова:* полирование, оптическая деталь, магнитореологический эффект, абразив, струя.

**Введение.** Известно, что современные тенденции создания и применения лазерных приборов и оптоэлектронных систем требуют использования новых изделий, высокое качество которых характеризуется, прежде всего, состоянием нанорельефа их поверхности. Принципиальные основы процесса полирования стекла и оптических линз были отработаны более 300 лет назад. Механизм воздействия жесткого притира через полировальную пасту на обрабатываемую поверхность не изменился до конца 20 века. Менялись только средства осуществления кинематического движения притира и другие средства автоматизации процесса. Рабочие-оптики затрачивали много времени и сил на подготовку полировального инструмента из смолы, полиуретана и др. пластичных материалов, которые в процессе обработки постоянно изнашивались и изменяли свои параметры. Наибольшие проблемы возникали при производстве асферической оптики, поскольку приходилось использовать большое

количество различных полировальных и профильных измерительных инструментов.

Основной традиционной технологией современного финишного полирования прецизионных оптических деталей является химико-механическое полирование (ХМП), представляющее собой совокупность механического и химического полирования. Данный метод заключается в добавлении при механическом полировании притиром к полирующей суспензии реагентов, которые химически взаимодействуют с поверхностью оптических элементов. Они разрушают его поверхностную структуру, стравливают нарушенный слой и облегчают тем самым механическое удаление вещества мелкими зернами абразива. Основными недостатками данной технологии являются трудности подготовки полировального инструмента, проблемы при адаптации механического притира к обрабатываемым поверхностям сложной формы (особенно асферической), неуправляемость характеристиками



полировального инструмента в процессе работы.

Помимо методов ХМП существуют другие способы финишного полирования:

Химическое полирование. При его использовании полностью исключается грубое механическое воздействие абразивных материалов, которое приводит в процессе полирования к образованию нарушенного слоя обрабатываемой поверхности детали. Химическое полирование позволяет полностью удалить нарушенный слой только за счет химического воздействия и получить поверхность с минимальной шероховатостью. Основными недостатками этого способа является нестабильность процесса полирования и трудоемкость осуществления процесса формообразования оптической поверхности, особенно при обработке асферической оптики.

Ионно-лучевое полирование. Осуществляется пучком ускоренных заряженных частиц, сформированных в источниках ионов. Ускоренные ионы попадают в технологическую камеру и взаимодействуют с поверхностью обрабатываемого объекта, вызывая либо распыление, либо осаждение материала. Недостатки этого способа связаны с малой производительностью, высокой стоимостью оборудования, ограниченным количеством оптических материалов, для которых можно применить указанный способ.

Жидкостно-напорная полировка, осуществляемая обработкой поверхности детали струей абразивной суспензии высокого давления (200 атм.). Процесс автоматизированный. Недостатки заключаются в сложности и дороговизне гидравлической системы, невысоком качестве и точности получаемой поверхности.

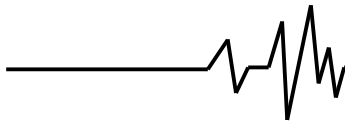
В начале 90 годов 20-го века белорусскими учеными впервые в мире был предложен новый способ полирования – магнитореологический, основанный на управляемом локальном съеме материала с поверхности детали с помощью струи магнитореологической полировальной жидкости (МРПЖ), меняющей свои вязко-пластичные свойства под воздействием магнитного поля. Последующая реализация метода финишного полирования оптических деталей при активной финансовой поддержке США проведена сотрудниками института на базе Центра оптического производства университета г. Рочестер, США. В настоящее время технология магнитореологического полирования используется в ведущих мировых промышленно развитых странах: США,

Германии, Франции, Японии, Израиле, в основном, для создания высококачественных оптических изделий, в частности, для целей астрооптики.

В отличие от традиционной технологии жесткого притира, для осуществления которой необходим длительный подгон (располировка) инструмента к обрабатываемой поверхности, при осуществлении магнитореологического полирования происходит мгновенная адаптация направленной струи МРПЖ к поверхности оптической детали (ОД) в зоне их контакта. Абразивные частицы, которые являются составляющими комплексного дисперсного наполнителя, под легким давлением со стороны магниточувствительных частиц, образовавших пластическое ядро, перемещаются к поверхности детали. Сдвигаясь в потоке совместно со струей, они производят скользящее давление, мягко разрушающее ОД в зоне контакта. Это, в отличие от технологии механического притира, является основным фактором для достижения высокого качества обработки поверхности ОД. Данная технология позволяет осуществить автоматизацию процесса полирования за счет регулирования режима течения, величины и концентрации магнитного поля в зоне обработки, состава полирующей жидкости, изменения относительной скорости движения в системе деталь-инструмент. В результате только данный метод позволяет достичь параметров ОД, соответствующих современным условиям использования изделий, как по качеству получаемой поверхности (несколько ангстремов), так и по образованию требуемой формы изделия.

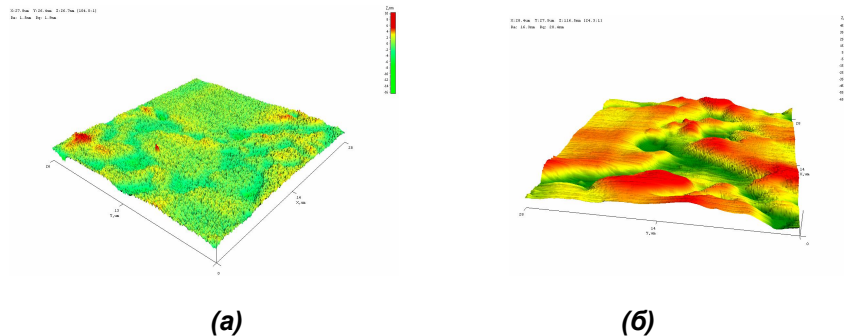
**1. Постановка задачи. Определение сдвиговых условий эффективного съема материала с поверхности детали при финишном магнитореологическом полировании.** Основным параметром, определяющим совершенство технологии и станков магнитореологического полирования, используемых для обработки поверхности высокоточных оптических деталей, является скорость съема материала с их поверхности [1, 2]. Ее учет необходим при разработке программного обеспечения стыковки управляющих технологических программ процесса формообразования с результатами интерферометрического контроля и данными по шероховатости поверхности обрабатываемой детали, полученными с помощью оптических профилометров или атомно-силовых микроскопов.

При рассмотрении процессов полирования с использованием МРПЖ



считаем, что данная технология, как и любая другая, связанная с доводкой поверхности обрабатываемых деталей до требуемой формы и показателей шероховатости, позволит получить наилучшие результаты при соблюдении двух условий. Во-первых, когда размеры абразивных частиц меньше размеров выступов над поверхностью [3, 4] детали, и, во-вторых, когда энергия кинетического воздействия набегающей частицы абразива, и,

соответственно, её давление на выступы материала над обрабатываемой поверхностью, будут меньше значений параметров, при которых может происходить эрозия поверхности. Опытные данные показывают, что, если магнитоупругое давление оказывается слишком большим, наблюдается ухудшение показателей шероховатости, связанное с вырыванием материала из более глубоких слоев поверхности (рис. 1).



**Рис. 1. Изменение шероховатости поверхности детали из карбида кремния после 4 часов (а) и после 12 часов обработки поверхности с помощью МРПЖ**

В теории финишной обработки изделий [4] причиной разрушения их поверхности считаются пульсации скорости и давления в примыкающем слое среды. В рассматриваемом случае – пульсации при столкновении частиц абразива [5] с выступами шероховатости без эрозии поверхности детали. Целью работы является, прежде всего, определение скорости и давления в МРПЖ в случае использования наполнителя, содержащего также магнитные частицы, поджимающие абразивные частицы к детали.

Величина скорости съема материала с поверхности детали дается выражением

Престона  $\frac{dm}{dt} = k \cdot p \cdot V$ , мм/сек, где  $p$  -

давление инструмента на деталь,  $V$  - скорость МРПЖ относительно детали,  $k$  - коэффициент, подлежащий определению. Для определения условий безэрозийного полирования и соответствующей скорости съема материала с поверхности детали рассмотрим подробнее механическое взаимодействие частиц абразива с этой поверхностью. Пусть абразивная частица имеет кубическую форму размера  $\Delta x$ , движется вместе со слоем МРПЖ около

детали со скоростью  $V = \gamma \cdot \frac{\Delta x}{2}$ ,

пропорциональной скорости сдвига  $\gamma$ , сталкивается с выступом в виде равносторонней треугольной пирамиды с углом

при вершине  $\alpha = \frac{\pi}{2}$ . Импульс отдачи при  $\rightarrow$

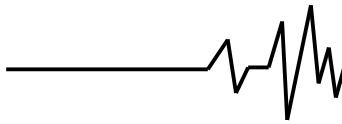
столкновении  $\rightarrow p_2$  направлен вдоль нормали к поверхности и создает отражающее воздействие на частицу. Выступы на детали расположены хаотично и, в сумме, частицы, при взаимодействии с ними создают давление

$P_r$ , и силу:

$$\vec{F}_r = dN \cdot \frac{dp_2}{dt} = \Delta S \cdot p_r \cdot e^0, \quad (1)$$

направленную противоположно подпиральной силе со стороны слоя магнитных частиц. Для срезания выступа частице, как режущему инструменту необходимо создать продольную  $\rightarrow$

поверхности силу резания  $F_e$ , и перпендикулярную силу магнитоупругого давления,



$$\vec{F}_m = \frac{d\vec{p}_m}{dt} = -\Delta S \cdot p_m \cdot \vec{e}^0, \quad (2)$$

компенсирующую отражающую силу (1). Полная сила, действующая на выступ, равна сумме силы резания, силы магнитоупругого давления и отражающей силы

$$\vec{F} = \vec{F}_e + \vec{F}_m + \vec{F}_r.$$

Если сила магнитоупругого давления больше отражающей, то суммарное напряжение сдвига в выступе направлено вглубь детали и приводит к эрозии её

поверхности. Импульс отдачи  $\vec{p}_r$  направлен наружу детали вдоль единичной нормали к ней. Пусть, двигаясь вдоль поверхности детали со

скоростью  $\vec{V}$ , каждая частица сталкивается с выступами, расположенными в объёме  $dV$  цилиндра поперечного сечения  $\Delta S$ , равного сечению частицы и выступа, имеющего боковую сторону, величина которой равна длине пути  $\vec{v} \cdot dt$ , проходимого частицей за время  $dt$ . При концентрации  $n_r$  число таких выступов равно  $dN_1 = \vec{V} \cdot dt \cdot \Delta S \cdot n_r$ .

$$\vec{F}_r = \frac{dN \cdot p_2}{dt} = \frac{p_2 \cdot n_a \cdot n_r \cdot dV^2}{dt} \quad p_r = \frac{F_r}{\Delta x \cdot v \cdot dt} = \frac{p_2}{dt} \cdot \frac{n_a \cdot n_r \cdot dV^2}{\Delta x \cdot v \cdot dt} = \frac{p_2}{dt} \cdot \frac{n_a \cdot n_r \cdot (v \cdot dt \cdot \Delta S)^2}{\Delta x \cdot v \cdot dt} = \frac{p_2}{dt} \cdot \frac{n_a \cdot n_r \cdot v \cdot dt \cdot \Delta S^2}{\Delta x},$$

где  $p_2 = m_p \cdot V$ . Таким образом, получаем выражение:

$$p_r = m_p \cdot \frac{v}{dt} \cdot \frac{n_a \cdot n_r \cdot v \cdot dt \cdot \Delta S^2}{\Delta x} = \left( m_p \cdot \frac{v^2}{dt} \cdot \frac{n_a \cdot n_r \cdot dt \cdot \Delta S^2}{2 \cdot \Delta x} \right) = m_p \cdot \frac{n_a \cdot n_r \cdot \Delta S^2 \cdot \Delta x}{8} \cdot (\gamma \bullet)^2,$$

которое согласуется с выражением, приведенным в [1].

Для эффективного полирования необходимо уравновешивание силы отражения силой магнитоупругого давления

$$\vec{F}_m + \vec{F}_r = \frac{dp_m}{dt} + \frac{dp_r}{dt} = 0.$$

Если величина магнитного поля, удовлетворяет этому условию, то при столкновении частицы с поверхностью детали на выступ действует сдвиговая сила, равная силе вязкого трения:

$$\vec{F}_e = -\eta \cdot \gamma \bullet \cdot \Delta S = \frac{dp}{dt}. \quad (3)$$

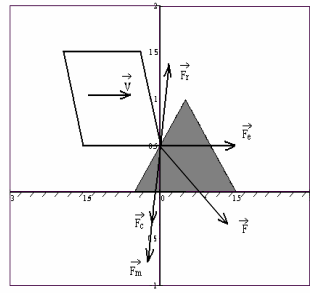


Рис. 2. Схема столкновения частицы абразива с выступом на поверхности детали

Если концентрация абразивных частиц, одновременно находящихся в объёме равна  $n_a$ , то число их в объёме -  $v \cdot dt \cdot \Delta S$  равно

$$dN_a = v \cdot dt \cdot \Delta S \cdot n_a.$$

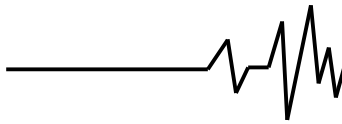
Тогда число столкновений частиц с выступами в объёме  $dV$  и импульс отдачи всего объёме равны:

$$dN = dN_1 \cdot dN_a = n_a \cdot n_r \cdot dV^2$$

$$\vec{dp}_r = p_2 \cdot dN = p_2 \cdot n_a \cdot n_r \cdot dV^2$$

Сила и давление отдачи соответственно равны:

Вследствие сильной связи частицы абразива с МРПЖ сила, действующая на выступ постоянна в течение времени  $dt$  от столкновения до срезания материала, скорость частицы считается постоянной и равной скорости МРПЖ, а затрата энергии на срезание компенсируется вязким трением за бесконечно малое время. За время  $dt$  выступа передается импульс  $dp_x$  силы, которая состоит из силы вязкого трения и силы упругости материала детали. Она направлена по единичному вектору оси координат  $Ox$  вдоль поверхности детали при сдвиговом напряжении, меньшем предела прочности  $\tau_q$ :



$$dp_x = -\eta \cdot \dot{\gamma} \cdot \Delta S \cdot dt - \tau_q \cdot \Delta S \cdot dt = -(\eta \cdot \dot{\gamma} + \tau_q) \cdot \Delta S \cdot \frac{dx}{V} = -(\eta \cdot \dot{\gamma} + \tau_q) \cdot \Delta S \cdot m_p \cdot \frac{dx}{p_x}$$

За время срезания  $\Delta t_0$  при деформации  $\Delta x_0$  получаем по теореме о среднем выражение для сообщаемой энергии:

$$-\frac{(p_{ox})^2}{2 \cdot m_p} = -(\eta \cdot \dot{\gamma} + \tau_q) \cdot \Delta S \cdot \Delta x_0 \quad (4)$$

Аналогично, в перпендикулярном направлении при  $\tau_r$  - предел прочности на растяжение,  $\nu$  - коэффициент Пуассона, имеем:

$$-\frac{(p_{oy})^2}{2 \cdot m_p} = -(\Delta p_m + \nu \cdot \tau_q) \cdot \Delta S \cdot \Delta x_0$$

Полная энергия (5), затраченная на разрушение выступов при столкновении с частицами МРПЖ, позволяет определить необходимую для получения искомого результата скорость сдвига (6):

$$\Delta E = (\Delta p_m + \tau_e + \eta \cdot \dot{\gamma}) \cdot \Delta S \cdot \Delta x_0 \quad (5)$$

$$(\dot{\gamma}_e) = \frac{\frac{\Delta E}{(\Delta S \cdot \Delta x_0)} - \Delta p_m - \tau_e}{\eta} \quad (6)$$

Срезание происходит, если передаваемая энергия больше энергии связи выступа с деталью, определяемой пределом

прочности на сдвиг  $\tau_e$

$E_b = \Delta S \cdot \tau_e \cdot \Delta x_0$ . При  $\Delta p_m = 0$ ,

$p_{oy} = 0$ ,  $\Delta E = E_b$ , когда вся энергия тратится на срезание выступа без эрозии, получаем искомую скорость сдвига

$$(\dot{\gamma}_q) = \frac{\tau_q}{\eta}$$

**2. Определение скорости съема материала при полировании.** Частица абразива в МРПЖ движется вдоль поверхности детали поступательно со скоростью  $V$  и

прижимается к детали магнитоупругим давлением  $P_m$ , предотвращающим её вращение вокруг контакта ребра частицы с выступом на поверхности детали. Съём материала выступа может заключаться в его срезании, или выламывании из глубины материала детали при столкновениях частиц абразива с выступом. Срезаемая за время столкновения масса выступа равна

$$m_0 = \rho \cdot 2 \cdot \Delta x^3 \cdot \nu, \quad \text{число столкновений} \\ dN = (V \cdot dt)^2 \cdot n_r \cdot n_a$$

Удаление выступов осуществляются частью абразивных частиц, имеющих энергию, большую энергии связи выступа, которая может быть представлена как:

$$W = C \cdot \exp\left(\frac{\Delta E - E_b}{k_b \cdot T}\right) = C \cdot \exp\left(\frac{\Delta E - \Delta S \cdot \tau_e \cdot \Delta x_0}{k_b \cdot T}\right) \quad (7)$$

Допустим, скорость частицы абразива, движущейся вместе со слоем МРПЖ, прилегающим к поверхности детали, равна средней скорости в этом слое

$$V = \dot{\gamma} \cdot \frac{\Delta x}{2}$$

$$\Delta E = \frac{(p_o)^2}{2 \cdot m_p} = \frac{m_p \cdot (\Delta x_0)^2}{8} \cdot (\dot{\gamma})^2 \quad (8)$$

Тогда скорость съема массы выступа с локального элемента поверхности детали, равно поверхности касания  $dS = \Delta x \cdot \nu \cdot dt$  равна:

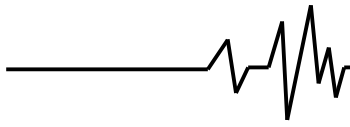
$$\frac{dm}{dt} = m_0 \cdot \frac{dN}{dt} = m_0 \cdot n_r \cdot n_a \cdot W \cdot dV^2,$$

а плотность потока массы может быть представлена выражением:

$$J = \frac{dm}{dS \cdot dt} = m_0 \cdot \frac{dN}{dS \cdot dt} = \left[ m_0 \cdot n_r \cdot n_a \cdot W \cdot \frac{dV^2}{(\Delta x \cdot \nu \cdot dt^2)} \right] = m_0 \cdot n_r \cdot n_a \cdot W \cdot \frac{\Delta S^2}{\Delta x} \cdot \nu \quad (9)$$

Частица, сталкиваясь с выступом, действует на него силой, момент которой  $M_e = \Delta x \cdot F_e \cdot \cos \alpha$ , наклоняет сторону

частицы  $\Delta x$ , перпендикулярную поверхности детали, на угол  $\alpha$ . Её действие уравнивается магнитоупругой силой,



момент которой  $M_m = \Delta x \cdot \Delta S \cdot p_m$ . Тогда из уравнения равновесия:

$$\Delta x \cdot \Delta S \cdot \eta \cdot \dot{\gamma} \cdot \cos \alpha = \Delta x \cdot \Delta S \cdot p_m$$

можно определить  $\cos \alpha = \frac{p_m}{\eta \cdot \dot{\gamma}}$ . Поэтому

скорость съема материала с площади  $S$  равна:

$$\frac{dm}{dt} = J \cdot S = S \cdot m_0 \cdot n_r \cdot n_a \cdot W \cdot \frac{\Delta S^2}{\Delta x} \cdot v = S \cdot m_0 \cdot n_r \cdot n_a \cdot W \cdot \frac{\Delta S^2}{\Delta x} \cdot \frac{\Delta x}{2} \cdot (\dot{\gamma}_e) \quad (10)$$

Подстановка средней скорости сдвига и площади сечения

$$(\dot{\gamma}_e) = \frac{\frac{m_p \cdot \Delta x^2}{8} \cdot (\dot{\gamma})^2 - (\Delta p_m - \tau_e) \cdot (\Delta S \cdot \Delta x)}{\Delta S \cdot \Delta x_0 \cdot \eta}, \quad (11)$$

даёт выражение потока массы:

$$\frac{dm}{dt} = S \cdot m_0 \cdot n_r \cdot n_a \cdot W \cdot \frac{\Delta S}{2 \cdot \Delta x} \cdot \frac{p_m}{\eta \cdot \dot{\gamma}} \cdot \frac{\frac{m_p \cdot \Delta x^2}{8} \cdot (\dot{\gamma})^2 - (\Delta p_m - \tau_e) \cdot (\Delta S \cdot \Delta x)}{\eta},$$

$$\frac{dm}{dt} = k \cdot p_m \cdot (v - v_e), \quad (12)$$

где

$$v_e = \frac{16 \cdot \Delta S \cdot \Delta x}{m_p \cdot \Delta x \cdot \dot{\gamma}} \cdot (\Delta p_m - \tau_e),$$

$$k = S \cdot m_0 \cdot n_r \cdot n_a \cdot W \cdot \frac{\Delta S}{2} \cdot \frac{m_p}{2 \cdot \eta^2},$$

Скорость сдвига  $\dot{\gamma}$  в этом слое определяется численным решением уравнений Навье-Стокса для течения МРГЖ в зазоре деталь-инструмент магнитополировального устройства заданной конфигурации. Концентрация абразивных частиц в рассматриваемом слое для определенной магнитной системы найдена в работе [5]. Таким образом, может быть вычислен коэффициент  $k$  и определена скорость съема материала по зависимости (12), которая подобна ранее приведенной в [1], имеющей неопределенный коэффициент  $k$ .

#### Список использованных источников

1. Kordonski W. I., Gorodkin S. Material Removal in Magnetorheological Finishing of Optics // Applied Optics.— 2011. — Vol. 50, No. 14.

2. W. I. Kordonski, A. B. Shorey, M. Tricard. Magnetorheological Jet (MR Jet) finishing technology. Journal of Fluids Engineering. — Vol. 128, i. 21, — 2006.

3. Белькович Б. А. Обработка металлокерамических материалов резанием. Минск, наука и техника. — 1965.

4. Ханин М. В. Математическое моделирование процесса поверхностного разрушения деталей машин и приборов. Всесоюзный заочный машиностроительный институт, — 1978.

5. Mokeev A. A., Korobko E., Bubulis A. Simulation of Concentration Distribution of Dispersed Particles of Magnetorheological Fluid in the Gap Workpiece-tool of Finishing Polishing Device // Mechanika. — 2014. — Vol. 20, No. 2, — P. 221–225.

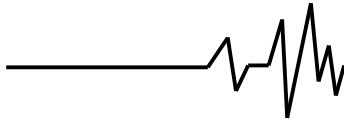
#### Список источников в транслитерации

1. Kordonski W. I., Gorodkin S. Material Removal in Magnetorheological Finishing of Optics // Applied Optics.— 2011. — Vol. 50, No. 14.

2. W. I. Kordonski, A. B. Shorey, M. Tricard. Magnetorheological Jet (MR Jet) finishing technology. Journal of Fluids Engineering. — Vol. 128, i. 21, — 2006.

3. Belkovich B. A. Obrabotka metallokeramicheskimi materialov rezaniyem. Minsk, nauka i tekhnika. — 1965.

4. Khanin M. V. Matematicheskoye modelirovaniye protsessa poverkhnostnogo



razrusheniya detaley mashin i priborov. Vsesoyuznyy zaochnyy mashinostroitelnyy institut, – 1978.

5. Mokeev A. A., Korobko E., Bubulis A. Simulation of Concentration Distribution of Dispersed Particles of Magnetorheological Fluid in the Gap Workpiece-tool of Finishing Polishing Device // *Mechanika*. – 2014. – Vol. 20, No. 2, – P. 221–225.

**ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗНІМАННЯ  
МАТЕРІАЛУ ПРИ ФІНІШНІЙ ОБРОБЦІ  
ПОВЕРХОНЬ ОПТИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ З  
ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ  
МАГНІТОРЕОЛОГІЧНОГО ПОЛІРУВАННЯ**

**Анотація.** Розглянуто задачу знімання матеріалу з поверхні оброблюваної методом магнітореологічної фінішного полірування оптичної деталі. Показано, що при високих тисках підтиску з боку магнітних частинок і швидкості течії струменя полірувальної рідини знімання матеріалу з поверхні деталі супроводжується ерозією і може використовуватися при первинній, більш «грубій» обробці її поверхні. Моделюється процес полірування без ерозії, при якому знімання матеріалу здійснюється рівномірно по площі деталі внаслідок зняття тільки виступів над її поверхнею. Розрахований невизначений коефіцієнт у відомій формулі

швидкості знімання матеріалу деталі при магнітореологічному поліруванні.

**Ключові слова:** полірування, оптична деталь, магнітореологічний ефект, абразив, струмінь.

**MATERIAL REMOVAL FROM THE SURFACE  
OF THE OPTICAL DETAIL PROCESSED BY  
THE MAGNETORHEOLOGICAL  
FINISHING POLISHING**

**Annotation.** The problem of material removal from the surface of the optical detail processed by the magnetorheological finishing polishing is discussed. It is shown, that at high pressing pressures from the side of magnetic particles and flowing rate of polishing fluid flow, the removal of the materials from the detail's surface is accompanied by erosion and can be used as primary, more "rough" processing of its surface. The polishing process without erosion is also simulated, at which the removal of the material is occurred evenly over the surface of the detail due to the removal of only spikes over its surface. The undetermined before coefficient in the known material removal rate equation is calculated, which is used to evaluate the quality of the detail as the result of magnetorheological polishing.

**Key words:** polishing, optical detail, magnetorheological effect, adhesive, stream.