

МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Одним из современных направлений развития финишных методов прецизионной обработки поверхностей деталей является использование магниточувствительных коллоидных жидкостей. В основе способа лежит эффект левитации немагнитных тел в магнитной жидкости



Авторы статьи

М.Л. Левин, канд. техн. наук, доц.

А.Л. Худoley, канд. техн. наук, доц.

Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова
НАН Беларуси

Объем магниточувствительной жидкости, в который вводят частицы абразивного материала, помещают в зону обработки и воздействуют на него неоднородным магнитным полем с градиентом, направленным от поверхности обрабатываемой детали. При этом частицы абразивного наполнителя, испытывая магнитное давление, всплывают к поверхности вращающейся полируемой детали и прижимаются к ней

с некоторой силой. Последняя равна по величине и противоположно направлена магнитной силе, действующей на эквивалентный объем феррожидкости, обладающей в магнитном поле с градиентом ∇H_p намагниченностью M_p . Давление на поверхность обрабатываемой детали при такой схеме реализации способа незначительное, тем не менее, представляется возможность проводить процесс финишной обработки при интенсивных режимах (теплообмен от поверхности детали осуществляется не только теплопроводностью, но и за счет конвективного переноса).

Для интенсификации процесса финишной обработки (до 0,1 мкм/мин) скорости вращения обрабатываемой детали составляют 10000–60000 об/мин.

Метод реологического полирования позволяет обрабатывать изделия фасонного профиля.

Технологический комплекс для финишной обработки поверхностей деталей включает в свой состав модуль магнитореологического полирования, который интегрируется с многокоординатными приводами с программным управлением. В свою очередь, в состав модуля полирования (рис. 1) входят: блок рабочего инструмента; блок циркуляции полировальной жидкости; блок управления.

Блок рабочего инструмента состоит из инструмента, представляющего собой вращающийся шаровой пояс с наружной и внутренней сферическими поверхностями. Внутри инструмента неподвижно уста-

навливается магнитная система, создающая в определенной зоне инструмента градиентное магнитное поле, направленное от наружной поверхности к условному центру сферы. Струя жидкости из сопла попадает касательно на наружную поверхность рабочего инструмента (рис. 1, а), притягивается к ней силой градиентного магнитного поля, меняет свою вязкость примерно на пять порядков и начинает двигаться со скоростью вращения инструмента. Альтернативная схема блока рабочего инструмента представлена в виде вращающейся профильной кюветы (рис. 1, б).

При соприкосновении с поверхностью детали формируется зона обработки (пятно обработки). После выхода из зоны воздействия магнитного поля вязкость жидкости возвращается в исходное состояние, далее попадает в магнитную ловушку и насосом доставляется в смесительный бачок, где происходят перемешивание и стабилизация заданной температуры. Вязкость полировальной жидкости в системе автоматически поддерживается в заданном диапазоне путем впрыска в смесительный бачок жидкой основы. Отслеживание изменения давления в гидросистеме осуществляет датчик давления, в случае отклонения его от заданных параметров система управления прекращает работу модуля полирования по специальному регламенту. Координатная базовая система предназначена для взаимного перемещения обрабатываемой детали и инструмента по требуемой траектории. На координатную базу устанавливают модуль полирования. Возможны три варианта расположения блока инструмента модуля полирования и детали (рис. 2). В зависимости от габаритов деталей и схемы расположения инструмента выбирается или проектируется координатная база. Полирование позволяет производить съем тончайших слоев вещества без деструктивного деформационного воздействия на обрабатываемую поверхность, поэтому данный метод может быть эффективно использован для полирования тонких пленок и слоев нанометровой толщины.

Существенным отличием технологии полирования от традиционных видов обработки является то, что отделенный материал постоянно уносится из рабочей зоны потоком жидкости и обеспечивает эффективный отвод тепла, тем самым минимизируя температурное воздействие на обрабатываемую деталь. При контакте оптической детали и струи жидкости в зоне воздействия магнитного поля на поверхности остается след, или пятно уноса материала (пятно обработки). По оси X отображается унос материала в пятне обработки вдоль потока струи жидкости, а по оси Y — поперек потока. Гео-

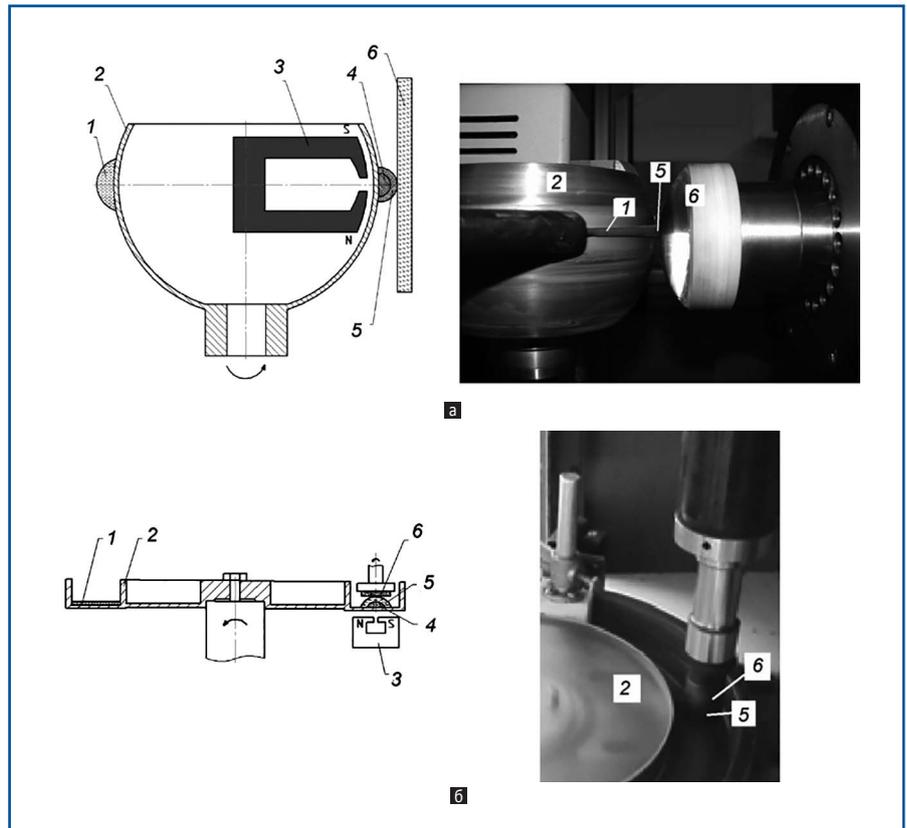
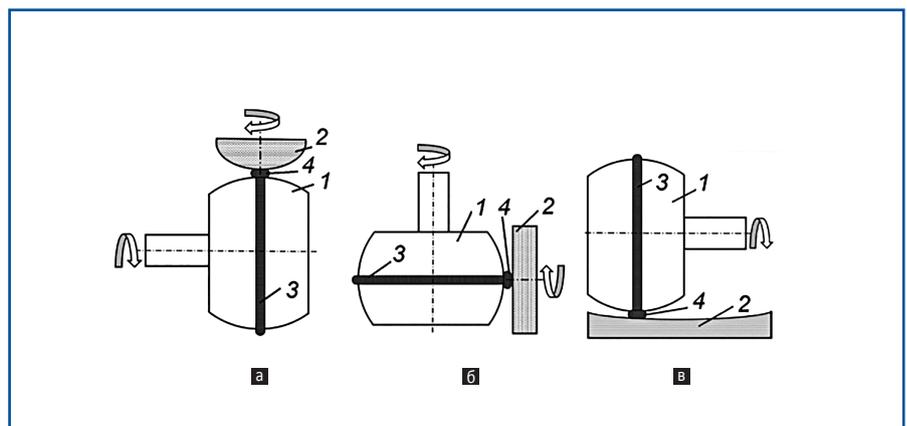


Рис. 1. Схемы модуля магнитореологического полирования:

а — с шаровым рабочим колесом; б — с профильной кюветой (1 — жидкость вне действия магнитного поля; 2 — опорная поверхность; 3 — магнитная система; 4 — жидкость в магнитном поле; 5 — абразив; 6 — обрабатываемая деталь)

Рис. 2. Варианты расположения блока инструмента модуля полирования и детали:

а — расположение детали над инструментом, оси вращения инструмента в горизонтальной плоскости (предпочтительно для обработки деталей диаметром до 200 мм); б — боковое расположение детали, оси вращения инструмента в вертикальной плоскости (предпочтительно для обработки деталей с размером до 300 мм); в — нижнее расположение детали, оси вращения инструмента в горизонтальной плоскости (предпочтительно для обработки крупногабаритных деталей): 1 — рабочее колесо; 2 — деталь; 3 — жидкость; 4 — зона обработки



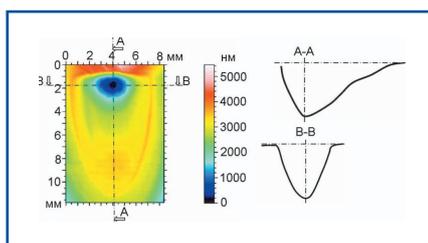


Рис. 3. Распределение уноса материала в пятне обработки и в сечениях А-А, В-В

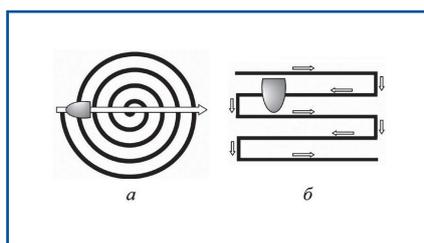


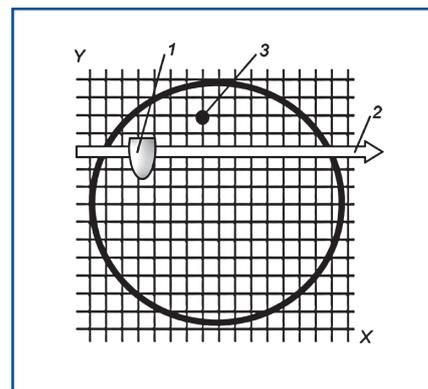
Рис. 4. Траектории перемещения пятна обработки относительно поверхности детали: а — по спирали Архимеда; б — растровая траектория

отклонения волнового фронта от теоретической поверхности в цифровом виде, необходимы для разработки алгоритма и программного обеспечения, которые управляют процессом съема материала по всей поверхности детали и, соответственно, процессом формообразования. На рис. 5 представлена схема топографической матрицы и пятна обработки.

Для осуществления процесса управляемого формообразования выпуклых и вогнутых сферических, асферических, а также плоских поверхностей созданы компьютерные программы. Технологический процесс финишной доводки поверхностей деталей с использованием программного обеспечения осуществляется итерационным способом с учетом коррекции формы поверхности по результатам интерферометрического контроля. Полирование позволяет удалять поверхностные дефектные слои, что в ряде случаев обеспечивает повышение на порядок лучевой прочности изделия.

Рис. 5. Схематическое изображение топографической матрицы контроля поверхности:

1 — пятно обработки; 2 — направление движения по линии растра; 3 — i-номер узла матрицы



ваются осесимметричные детали (сферические и асферические линзы, плоские круговые детали). При этом при поступательном движении пятна обработки по поверхности детали от края через центр к другому краю происходит управляемое переменное вращение детали с помощью круговой оси, являющейся центром вращения детали.

Одновременно с изменением скорости вращения от края к центру детали при движении пятна обработки и поверхности относительно друг друга меняется скорость перемещения пятна обработки от края к цен-

тру детали. С использованием растровой траектории перемещения обрабатываются не осесимметричные детали любой формы, а также астрооптика.

В зависимости от размеров пятна обработки и размеров детали определяется шаг растра (от доли до нескольких миллиметров). При прохождении каждой линии растра может изменяться скорость движения пятна обработки относительно поверхности детали. Данные интерференционного контроля поверхности в виде топографической сеточной матрицы, в узлах которой даны

Таблица 1. Результаты обработки деталей с использованием технологии магнито-реологического полирования

Материал	Напряженность поля в зоне обработки Н, кА/м	Шероховатость Ra, нм		Производительность q, нм/мин
		начальная	конечная	
Селенид цинка	200	20	1,3	80–100
Арсенид галлия	240	650	1,0	34
Лейкосапфир	230	15	2,5	20,0
Кварц	220	300	4,0	150
Углеситалл	250	250	15,0	150
Керамика (Si ₃ N ₄)	250	250	8,0	100
Стекло ТФ-10	200	90	0,68	500
Медь М1 ¹	250	40 ± 5,2	3,0 ± 0,48	123
Медь М2 ²	250	4,5 ± 0,8	1,5 ± 0,23	25
Титан ³	250	143 ± 12,5	0,62 ± 0,26	198
Сталь нержавеющая (немагнитная) ⁴	250	135 ± 14,7	0,27 ± 0,07	128
Алюминий ⁵	250	125 ± 9,6	14,8 ± 0,9	283
Латунь ⁶	250	110 ± 8,2	7,3 ± 0,24	1712

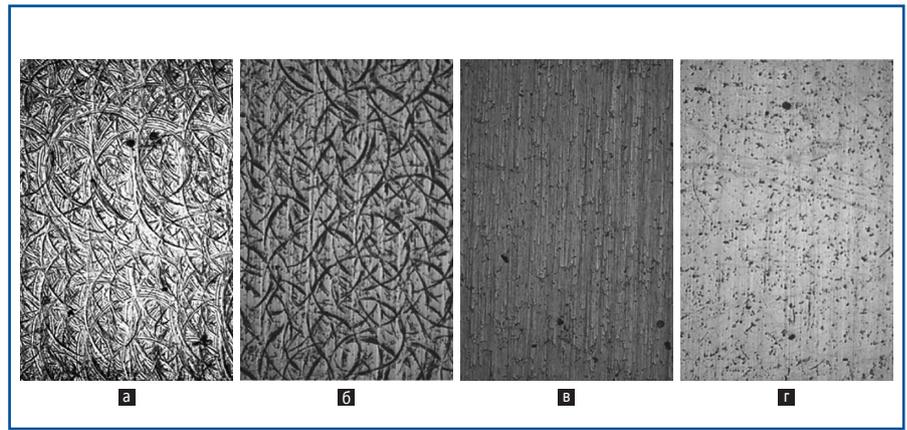
Примечание: время обработки: ¹ — 5,0 ч; ² — 2,0 ч; ³ — 12,0 ч; ⁴ — 17,5 ч; ⁵ — 6,5 ч; ⁶ — 1,0 ч.

В табл. 1 приведены примеры результатов обработки деталей с использованием метода магнитореологического полирования.

На рис. 6 представлены опико-микроскопические изображения структуры поверхности сплава Al-Cu4Mg в процессе последовательной обработки при применении метода магнитореологического полирования.

Анализ потребностей высокотехнологичных областей промышленного производства в прецизионной обработке поверхностей изделий и возможностей различных режимов магнитореологического полирования позволил наметить основные направления использования технологии:

- ♦ формирование асферической поверхности изделия, имеющего первоначальную сферическую форму (режим «формообразование»);
- ♦ автоматизированная обработка локальных участков поверхности со снятием различного припуска (режим «ретушь»);
- ♦ устранение дефектного слоя, образовавшегося при выполнении предшествующих операций, для повышения лучевой прочности элементов лазерных систем (включая изделия из водорастворимых кристаллов);



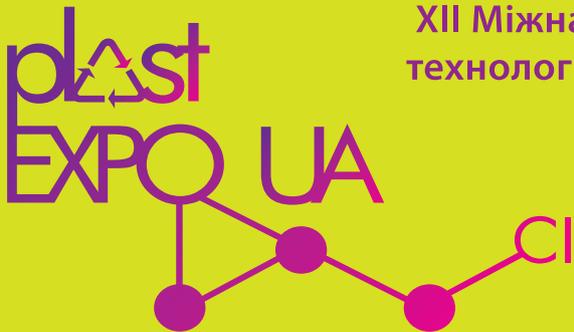
- ♦ финишная обработка поверхностей длинномерных труб, калибров, сложных сочленений, прецизионных направляющих, выполненных из немагнитных металлических сплавов;
- ♦ планаризация поверхностей интегральных схем, имеющих сложное морфологическое и топологическое строение, для изготовления компонентов 3D-электроники. финишная обработка тонких пленок и слоев нанометровой толщины (режим «полирование»);
- ♦ обработка сегментных асферических металлооптических элементов после алмаз-

Рис. 6. Опико-микроскопические изображения (1,1 × 1,4 мм) поверхности сплава Al-Cu4Mg в процессе последовательной обработки:

а — алмазное точение; б — классическое полирование, Ra = 146,9 нм; в — ускоренное магнитореологическое полирование, Ra = 61,5 нм; г — длительное магнитореологическое полирование, Ra = 39,3 нм

ного микроточения и последующее финишное полирование аморфного покрытия;

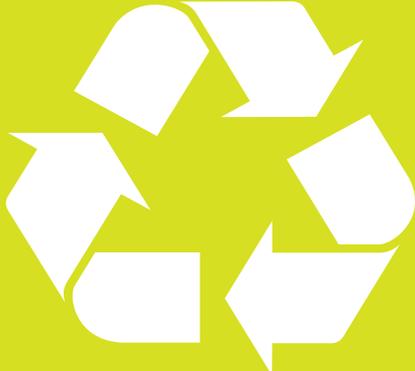
- ♦ полирование крупногабаритной оптики, зеркал и их сегментов, изготовленных из церодура, ситалла и карбида кремния.



XII Міжнародна спеціалізована виставка технологій та обладнання для переробки полімерів



МІЖНАРОДНИЙ БІЗНЕС-ФОРУМ
ДЛЯ СПЕЦІАЛІСТІВ В ОБЛАСТІ
ПОЛІУРЕТАНІВ





МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
Україна, м. Київ, Броварський пр-т, 15
станція метро "Лівобережна"

☎ (044) 201-11-56, (58, 65)
✉ plast@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua

24 – 27

листопада

2020

Генеральний інформаційний партнер: 

Технічний партнер: 