

моделирования формы капилляров (пор), как правило, для порошковых тел используют цилиндрическую модель капилляров) позволяет получить размер пор, объем жидкости дает объем пор. При необходимости полученную кривую объемного распределения пор несложно преобразовать в кривую количественного распределения пор. В настоящее время на рынке существуют предложения различных моделей жидкостных экструзионных порозиметров, имеющих различные диапазоны измерений и которые в совокупности позволяют определять поры с размерами от 0,013 до 1000 мкм. Прибор абсолютно безопасен, не использует ртуть или другие вредные вещества.

Список использованных источников

1. Витязь, П.А. Фильтрующие материалы: свойства, области применения, технология изготовления / П.А. Витязь, В.М. Капцевич, Р.А. Кусин – Минск: НИИ ИП с ОП, 1999. – 304 с.
2. Фандеев В.П., Самохина К.С. Методы исследования пористых структур/ В.П. Фандеев, К.С. Самохина – Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» – <http://naukovedenie.ru>. – июль–август 2015. – Том 7, №4. – С. 1–21.
3. Vityaz, P.A. Pore structure of sintered permeable materials by mercury porosimetry methods / P.A. Vityaz, V.K. Sheleg, V.M. Kaptsevich, R.A. Kusin // Soviet Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 1980. Vol. 19. N 10. P. 718.
4. Витязь, П.А. Применение методов ртутной порометрии для исследования поровой структуры спеченных проницаемых материалов /П.А. Витязь, В.К. Шелег, В.М. Капцевич, Р.А. Кусин // Порошковая металлургия. – 1980. – №10. – С. 74–78.
5. Akshaya, Jena and Krishna Gupta. Исследование пористой структуры фильтров и фильтрующих сред /Jena Akshaya, Gupta Krishna Gupta// Fluid Particle Separation Journal. – 2002. – Vol. 4. – No. 3. – Pp. 227–241.

УДК 621.762

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ РАБОЧЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

Студент – Дорошенко М.В., 19 рпт, 3 курс, ФТС
Научные
руководители – Акулович Л.М., д.т.н., профессор;
Сергеев Л.Е., к.т.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», г. Минск, Республика Беларусь

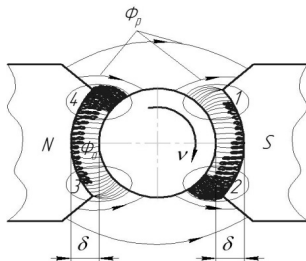
Аннотация. Синергический подход, выявляющий наиболее важные стороны каждого из компонентов РТС, позволит интенсифицировать MAO поверхностей тел вращения на основе ковариантности свойств и их

взаимного влияния. Сложность процесса MAO, обусловленная самоорганизацией формирования режущего инструмента и изменением в процессе обработки его режущей способности, характеризуется нелинейными зависимостями выходных параметров от технологических режимов и синергетической природой многих явлений, происходящих при резании. В качестве управляющих факторов при MAO выбраны основные показатели компонентов РТС, характеризующие их физические свойства и функциональное назначение: - градиент магнитной индукции; - магнитная проницаемость и микротвердость абразива; - вязкость смазочно-охлаждающей жидкости и водородный показатель (кислотность).

Ключевые слова: магнитно – абразивная обработка, шероховатость, ферроабразивный порошок, синергический эффект, ферроабразивные зерна.

Введение. Известно, что от свойств и состояния поверхностных слоев деталей, которые наиболее подвержены внешним воздействиям, зависит надежность и ресурс работы машин и механизмов [1]. Современное машиностроение располагает достаточно большим числом методов и способов формирования рабочих поверхностей деталей машин с обеспечением заданных шероховатости и физико-механических свойств [2,3], в том числе пластическое деформирование поверхностного слоя, механическая обработка лезвийными и абразивными инструментами, электрофизические и электрохимические методы. Значительный вклад в обеспечение эксплуатационных характеристик деталей машин вносит топография их поверхностей, образованная технологией изготовления. Так, величина и форма микронеровностей на рабочих поверхностях деталей оказывает существенное влияние на износостойкость трущихся поверхностей. Уменьшение микронеровностей обеспечивает более благоприятный микропрофиль, облегчающий трение и снижающий износ сопрягаемых поверхностей. Формирование микропрофиля поверхностей деталей происходит при их изготовлении на операциях финишной обработки, доля которых в производственных процессах постоянно увеличивается в связи с внедрением технологий изготовления заготовок (обработка давлением, точное литье, порошковая металлургия и т.п.), снижающих припуски на механическую обработку [2]. Однако по производительности и экологическим соображениям доминирующим финишным методом остается механическая абразивная обработка, которая нередко является единственно возможным методом обеспечения требуемого качества поверхности. В машиностроении около 80 % рабочих поверхностей деталей машин подвергается финишной обработке, удельная трудоемкость которой составляет (20–45) % в общей трудоемкости изготовления изделий.

По виду режущего инструмента существующие методы финишной абразивной обработки поверхностей можно разделить на обработку закрепленным, свободным и подвижно-координированным абразивным зерном. При любом способе финишной абразивной обработки важнейшим фактором является возможность изменять давление частиц абразивного порошка на обрабатываемую поверхность заготовки. В незакрепленном состоянии частицы абразива более полно используют свои режущие способности, так как происходит нивелирование их рабочих кромок относительно обрабатываемой поверхности. К одному из перспективных способов финишной обработки эластичным инструментом относится магнитно-абразивная обработка (МАО). В процессе МАО ферроабразивные порошки (ФАП) в свободном состоянии помещают в магнитное поле (МП) (рисунок 1), под действием которого зерна порошка ориентируются так, что к обрабатываемой поверхности обращены их наиболее острые кромки. В результате этого на протяжении всего цикла обработки имеет место процесс ориентированного абразивного резания эластичным инструментом. Под действием магнитного поля в процессе обработки происходит переориентация незакрепленных ферроабразивных зерен (ФАЗ), которые стремятся сориентироваться наибольшей осью перпендикулярно обрабатываемой поверхности. Режущий инструмент при МАО формируется непосредственно в рабочем зазоре δ (см. рисунок 1) путем самоорганизмованной ориентации множества незакрепленных ФАЗ относительно обрабатываемой поверхности [5]. Поэтому для реализации МАО не требуется изготавливать профилирующий абразивный инструмент, а также периодически его править, что в 2–3 раза снижает затраты на инструмент. МАО обеспечивает шероховатость поверхности по параметру $Ra = 0,01–0,4$ мкм, снижение температуры в зоне резания по сравнению с традиционными методами абразивной обработки, что способствует образованию нового качества поверхности и структуры поверхностного слоя.



Φ_0 – основной магнитный поток, Φ_r – поток рассеивания, δ – рабочие зазоры,
1–4 – зоны формирования режущего инструмента

Рисунок 1 – Схема магнитно-абразивной обработки наружных цилиндрических поверхностей

Известно [5, 6], что основными параметрами, характеризующими процесс MAO и определяющими его производительность и качество обработанных поверхностей, являются компоненты рабочей технологической среды (РТС):

- ферроабразивный порошок, из которого формируется режущий инструмент;
- электромагнитное поле, которое удерживает ФАП в рабочем зазоре и формирует из него абразивную щетку;
- смазочно-охлаждающее технологическое средство (СОТС), облегчающее процесс резания и повышающее интенсивность срезания неровностей.

Однако опубликованные работы не содержат результатов исследований в области ковариантности и интеграции компонентов РТС, что не позволяет целенаправленно управлять процессом MAO с целью обеспечения высокой производительности обработки, снижения расхода электроэнергии, дорогостоящих ферроабразивного порошка и смазочно-охлаждающих технологических средств. У исследователей о режущем инструменте для MAO сложилось устойчивое представление только как о порции ФАП без учета синергического воздействия компонентов РТС и роли в нем МП и СОТС. Это проявляется в нерациональном назначении параметров MAO и выборе технологических режимов, что приводит либо к непроизводительным потерям, либо к неполному использованию возможностей MAO в обеспечении показателей качества обрабатываемых поверхностей деталей. Отсутствие научно обоснованных диапазонов для параметров РТС и системных данных о механизме концентрации ЭМП в зоне обработки при изменении формы и габаритов деталей не способствует промышленному внедрению технологии MAO. Синергический подход, выявляющий наиболее важные стороны каждого из компонентов РТС, позволит интенсифицировать MAO поверхностей тел вращения на основе ковариантности свойств и их взаимного влияния.

Синергические эффекты также имеют место и в других отраслях экономики [7]. Их возникновение изменяет качественную сторону функционирования технологических и производственных процессов. Так, например, присутствие синергических эффектов требует оригинальных подходов к прогнозированию, планированию, регулированию и управлению на различных уровнях экономической деятельности, как отдельных предприятий, так и в масштабах всей страны. Синергические эффекты используются и в медицине при исследовании комплексных воздействий различных препаратов. Количественный анализ синергического эффекта используют также в производстве химических

материалов при варьировании рецептурно-технологических факторов с применением аппарата математической химии [8].

Таким образом, термин синергизм широко используется как в теоретических, так и в прикладных исследованиях, в которых понятие эффекта должно быть четко определено и поддаваться корректному измерению.

Цель исследования – установить наиболее значимые параметры компонентов рабочей технологической среды при магнитно-абразивной обработке, определить степень корреляции компонентов РТС и ее влияние на шероховатость поверхности и производительность обработки.

Задачи настоящего исследования состоят в формализации процесса MAO, выявлении эффектов взаимодействия технологических факторов и количественной оценке относительного вклада каждого фактора в синергический эффект, что позволит раскрыть потенциальные возможности магнитно-абразивной обработки.

Методика исследований. Особенность динамической модели процесса MAO заключается в ее сложности, которая обусловлена набором неоднозначных и (или) изменяющихся входных параметров:

- ферроабразивные зерна имеют стохастическую геометрию и в процессе MAO в результате самоорганизации самопроизвольно (случайным образом) распределяются на обрабатываемой поверхности;
- режущая способность ферроабразивной «щетки» зависит от степени уплотнения ФАЗ, что носит стохастический характер;
- интенсивность резания каждым ферроабразивным зерном зависит как от степени воздействия ЭМП на компоненты РТС, так и от магнитной проницаемости ФАЗ, а также от свойств СОТС.

Указанные особенности дают основание процесс MAO уподобить открытой нелинейной самоорганизующейся системе [9], подверженной колебаниям, в результате которых она развивается и движется к относительно устойчивому состоянию. Этому способствует постоянный энергетический и материальный обмен системы с окружающей средой. Нелинейный характер параметров самоорганизации процесса MAO затрудняет возможность однозначно прогнозировать результаты обработки и оптимизировать режимы технологического процесса традиционными методами. Используя фундаментальные представления и выводы синергетики как науки о совместном действии факторов, самоорганизующихся в системы, можно априори утверждать наличие следующих общих свойств системы «Станок–Деталь–Управляющее устройство». Например, выявлено, что при MAO лезвий режущих сегментов из стали 65Г замена ФАП Ж15Т на Царамам – А и СОТС Аквол – 10 на СинМА – 1 при прочих равных условиях приводит к уменьшению

времени скругления кромки изделий в 2,6 раза . Это указывает на необходимость исследования структуры и химического состава ФАП и различных составов СОТС, их ковариантности и взаимовлияния на процесс обработки и диспергирования при наложении МП. В [10] представлены данные, что после МАО резцов достигнуто повышение их стойкости в 2÷3 раза при использовании магнитных индукторов с возможностью варьирования величиной магнитной индукции в зоне резания изменением положения индуктора. Поскольку определение топографии МП связывается с интуитивным подходом, то для эффективного решения требуется персонал с высокой квалификацией. Одним из основных факторов, характеризующим эффективность процесса МАО и в значительной мере определяющим его производительность и качество поверхностей является состав и свойства РТС.

Сложность процесса МАО, обусловленная самоорганизацией формирования режущего инструмента и изменением в процессе обработки его режущей способности, характеризуется нелинейными зависимостями выходных параметров от технологических режимов и синергетической природой многих явлений, происходящих при резании.

При решении подобных задач, как правило, показатели качества и производительности являются конфликтующими параметрами, оптимальные значения которых достижимы при различных значениях управляющих факторов. Поэтому оптимизация технологического процесса требует поиска варианта, компромиссного по обоим критериям. Эффективной методологией решения этой проблемы является математическое моделирование, основанное на получении многофакторных уравнений, описывающих поведение технологического процесса, и его многокритериальную оптимизацию с помощью построенной математической модели. Количественная оценка синергических эффектов заключается в поиске адекватных математических моделей, содержащих параметры, характеризующие эффект синергизма. В связи с этим количественный анализ эффектов синергизма состоит в оценке численных значений параметров математических моделей и обобщенных характеристик, отражающих взаимодействие технологических факторов. Таким образом, разработку методов целенаправленного создания математических моделей следует рассматривать как мощный инструмент определения требуемых значений основных параметров процесса МАО, что позволяет получить более обдуманные, обоснованные и взвешенные решения.

Сложности заключаются в наличии множества неконтролируемых факторов и в отсутствии возможности выделить явления или процессы одной физической природы, зависящие от небольшого числа переменных

и представить результаты хорошо интерпретируемыми функциональными зависимостями, параметры которых имеют физический смысл.

Для реализации процесса MAO существует множество вариантов сочетания технологических режимов и выбора постоянных факторов. Проведенные исследования направлены на выбор из множества вариантов одного конкретного сочетания факторов при MAO беговых дорожек кольца подшипников, включающего реализацию синергических эффектов.

Таблица – Управляющие факторы процесса MAO

Управляющие факторы			Уровни факторов		
номер	наименование	обозначение	основной	верхний	нижний
1	Градиент магнитной индукции B , Тл/мм	X_1	0,8	1,0	0,6
2	Магнитная проницаемость μ , мкГн/м	X_2	8	11	5
3	Водородный показатель pH	X_3	8	9,5	6,5
4	Микротвердость абразива HV , ГПа	X_4	10	12	8
5	Вязкость СОЖ γ , сСт	X_5	30	50	10
6	Время обработки t , с	X_6	90	135	45

На основе априорной информации [1, 3, 5] в качестве управляющих факторов при MAO выбраны основные показатели компонентов РТС, характеризующие их физические свойства и функциональное назначение (таблица):

- градиент магнитной индукции характеризуют силовое воздействие МП на ферроабразивные зерна по величине и направлению, а время обработки – продолжительность этого воздействия;
- магнитная проницаемость и микротвердость абразива характеризуют магнитные свойства ФАП и режущую способность абразивных зерен;
- вязкость смазочно-охлаждающей жидкости и водородный показатель (кислотность) характеризуют технологические свойства СОТС.

Определение количественных зависимостей варьируемых факторов и выходных параметров процесса MAO осуществлялось с помощью регрессионного анализа [11, 12].

Закключение. В качестве управляющих факторов при MAO выбраны основные показатели компонентов РТС, характеризующие их физические свойства и функциональное назначение:

- градиент магнитной индукции;

- магнитная проницаемость и микротвердость абразива;
- вязкость смазочно-охлаждающей жидкости и водородный показатель (кислотность).

Список использованных источников

1. Обработка и упрочнение поверхностей при изготовлении и восстановлении деталей / В.И. Бородавко [и др.]; под ред. М.Л. Хейфеца и С.А. Клименко. – Минск : Беларуская навука, 2013. – 463 с.
2. Безъязычный, В.Ф. Технологические процессы механической и физико-химической обработки в авиадвигателестроении / В.Ф. Безъязычный [и др.]; под общ. ред. В.Ф. Безъязычного. – М. : Машиностроение, 2007. – 538 с.
3. Финишная обработка поверхностей / С.А. Клименко [и др.]; под общ. ред. С.А. Чижика и М.Л. Хейфеца. – Минск : Беларуская навука, 2017. – 377 с.
4. Энциклопедия машиностроения. Т.III. Технология изготовления деталей машин / А.М. Дальский [и др.]. – Машиностроение, 2000. – Т. 3. – 420 с.
5. Сакулевич, Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки / Ф.Ю. Сакулевич. – Минск : Наука и техника, 1981. – 326 с.
6. Акулович Л.М. Магнитно-абразивная обработка сложнопрофильных поверхностей деталей сельскохозяйственных поверхностей деталей сельскохозяйственных машин/ Л.М. Акулович, Л.Е. Сергеев. – Минск : БГАТУ, 2019. – 272 с.
7. Витязь, П.А. «Индустрия 4.0»: от информационно-коммуникационных и аддитивных технологий к самовоспроизведению машин и организмов / П.А. Витязь, М.Л. Хейфец, С.А. Чижик // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2017. – №2. – С. 54–72.
8. Современная прикладная теория управления: Синергический подход в теории управления / Под ред. А.А. Колесникова.– Таганрог: Изд.ТРТУ, 2000. – Ч. II.– 559 с.
9. Майборода, В.С. Магнитно-абразивная обработка многогранных неперетачиваемых твердосплавных пластин в условиях больших рабочих зазоров / В.С. Майборода, Д.Ю. Джулий, Б.М. Фесюн, А.В. Анисимова, В.Н. Гейчук / Наукові праці ДонНТУ. – №6. – 2009. – С. 157–165.
10. Евгеньев, Г. Б. Синергетическая case-технология создания прикладных интеллектуальных систем // Двенадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2010). Труды конференции. – Т. 3. – М. : Физматлит, 2010.– С. 294–302.
11. Лавров, В.В. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента / В.В. Лавров, Н.А. Спирин. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. – 2004. – 257 с.
12. Stephen H Miller. Experimental design and statistics. / London: Routledge. – 2015 – 186 p.