

УДК 621.923

МАГНИТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА ПРЕРЫВИСТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

*д-р техн. наук, проф. Л.М. АКУЛОВИЧ, канд. техн. наук, доц. Л.Е. СЕРГЕЕВ, Е.В. СЕНЧУРОВ
(Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск)*

Рассмотрены результаты магнитно-абразивной обработки прерывистых поверхностей на примере цилиндрических поверхностей с пазами, впадинами, лысками. Указаны отличительные особенности обработки прерывистых поверхностей. Кроме того, были рассмотрены различные схемы магнитно-абразивной обработки пазов и впадин, интенсифицирующие производительность процесса, и способы выравнивания эпюры съема материала в ходе обработки. Для прогнозирования показателей качества обработки с целью правильного выбора схемы магнитно-абразивной обработки были установлены коэффициенты формы и перекрытия, а также коэффициент, характеризующий размеры рабочей части полюсных наконечников. Исследована производительность процесса с учетом полученных эпюр съема и качества поверхности на кромках, боковых поверхностях и дне пазов и впадин. На основании результатов исследования были выявлены условия возможности применения способа магнитно-абразивной обработки прерывистых поверхностей.

Введение. В ряду финишных операций, предназначенных для достижения необходимых показателей деталей машин, определенное место занимает магнитно-абразивная обработка (МАО) [1 – 3]. Развиваемый диапазон давления рабочей среды, состоящей из ферроабразивного порошка (ФАП) и смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС), на поверхностный слой изделий составляет 0,4...2 МПа [4], что позволяет осуществить размерный слой материала до 0,1...0,2 мм. Известно, что метод МАО используется для эффективной обработки деталей с прерывистыми поверхностями из черных и цветных металлов, полимерных и композиционных материалов [1]. Основными компонентами, характеризующими эффективность метода в данной области применения, служат: оборудование, конструкция которого наиболее полно отвечает выполнению условий законов электромагнетизма и принципов технологии его изготовления; правильное использование магнитного поля (МП); создание новых видов рабочей среды путем интенсификации их режущих и моющих свойств. Кроме того, важный аспект состоит в необходимости превентивного прогнозирования возможных решений данной научно-технической задачи.

Постановка задачи. Особенностью МАО является формирование «ферроабразивной щетки» под действием магнитного поля, которая вследствие этого обладает определенной инерционностью. Отсюда возникают сложности при обработке деталей типа валов со шпоночными и (или) шлицевыми пазами, шестерен, фрез, сверл, а также плоских поверхностей, имеющих пазы и впадины. Поскольку при МАО обрабатываемому изделию и инструменту задаются относительные перемещения, то в результате их наложения не всегда удается сохранить постоянный рабочий зазор между полюсными наконечниками и поверхностью изделия. Это вызвано тем, что края пазов и впадин служат концентраторами магнитного потока, где и происходит наиболее интенсивный съем материала. Часть дна паза и одна из боковых сторон не обрабатываются, что объясняется инерционностью «ферроабразивной щетки».

Поскольку количество обрабатываемых изделий, имеющих прерывистые поверхности, постоянно увеличивается, прогнозирование возможности эффективного применения метода МАО, заключающееся в создании адекватного возникающим условиям алгоритма деятельности, направленного на получение требуемых нормативно-технической документацией параметров, является важной задачей на сегодняшний день. Вариабельность и динамизм указанной выше задачи связан с функциональным резервом метода, который на основе его комплексной оптимизации и часто при недостаточном объеме информации позволяет выявить построение всякий раз эффективного решения.

Методы исследования. Существует несколько способов выравнивания эпюры съема материалов в ходе протекания процесса МАО. К ним относятся:

- изменение схемы обработки;
- назначение припусков на обработку, учитывающих неравномерность съема;
- использование реверсивного движения;
- съем припуска в пределах допуска на размер.

На начальном этапе весьма важной является оценка возможностей МАО этих пазов и впадин в соответствии с предъявляемыми к ним требованиями. Необходимо отметить, что величина съема и качество обработанной поверхности в большой степени зависит от геометрических размеров пазов и впадин. Для прогнозирования показателей качества обработки с целью правильного выбора схемы требуется установить коэффициенты, характеризующие геометрические размеры пазов и впадин. В зависимости от этих коэффициентов и режимов обработки были получены экспериментальные данные для различных схем обработки пазов, определяющие их эпюры съема и качество поверхности после МАО.

На рисунке 1 представлены четыре схемы обработки поверхностей пазов и впадин, которые включают подавляющее большинство вариантов. Все остальные схемы относятся к частным случаям, а приведенные результаты носят общий характер.

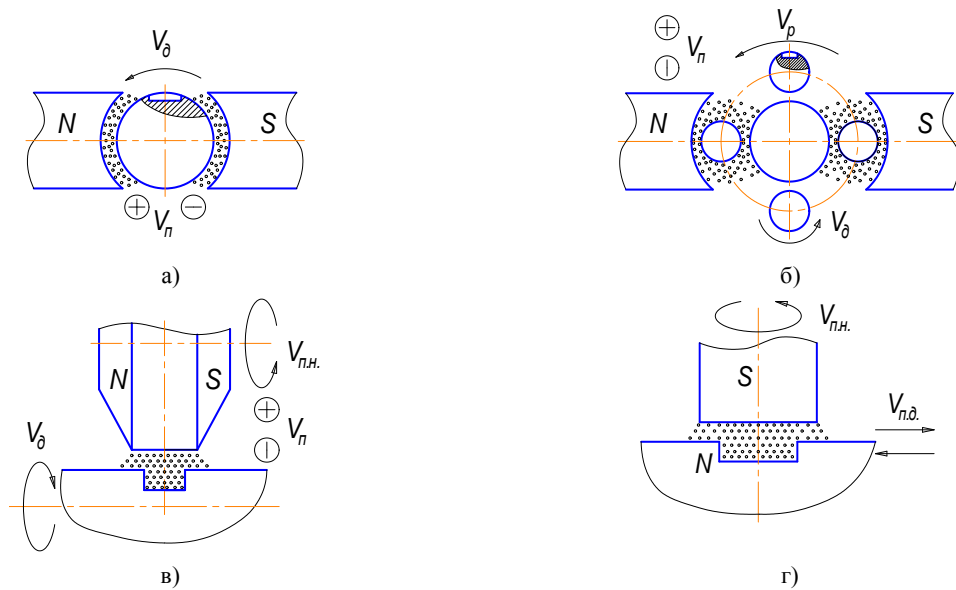


Рис. 1. Схемы MAO одной (а) и нескольких (б) цилиндрических деталей с продольными пазами и винтовыми канавками, цилиндрических деталей с поперечными пазами (в), плоских деталей с пазами (г):

V_δ – скорость вращения детали; V_n – скорость поперечной подачи полюсных наконечников;
 V_p – скорость вращения ротора; $V_{п.н.}$ – скорость вращения полюсного наконечника;
 $V_{п.д.}$ – скорость поперечной подачи детали; S, N – магнитные полюса

На рисунке 2 изображены расчетные схемы для определения коэффициентов. В качестве геометрического коэффициента формы принимается отношение глубины (h) впадины к ее ширине (L):

$$K_1 = \frac{h}{L} = \frac{R-r}{L} = \frac{D-d}{2L}, \quad (1)$$

где K_1 – геометрический коэффициент формы; h – глубина паза (впадины), мм; L – ширина паза (впадины), мм; R – радиус вершин паза (впадины), мм; r – радиус дна паза (впадины), мм; D – диаметр вершин паза (впадины), мм; d – диаметр дна паза (впадины), мм.

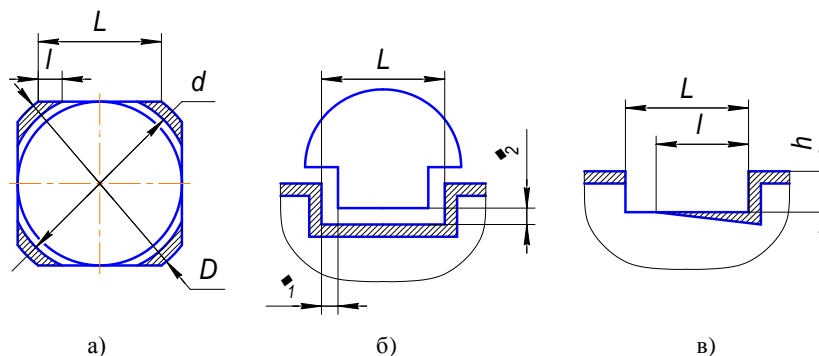


Рис. 2. Эпюры съема материала при MAO лысок (а), спиралевидных (б) и прямых (в) пазов (впадин)

В качестве коэффициента перекрытия, характеризующего эпюру съема, принимаем отношение ширины обрабатываемого участка дна (l) к ширине впадины (L):

$$K_2 = \frac{l}{L}, \quad (2)$$

где K_2 – коэффициент перекрытия; l – ширина обрабатываемого участка дна, мм.

Рассматривались три основных типа пазов на цилиндрических поверхностях:

- первый тип – цилиндрические поверхности с пазами или лысками вдоль образующей поверхности;
- второй тип – цилиндрические поверхности со спиралевидными канавками;
- третий тип – цилиндрические поверхности с концентрическими пазами.

Обработка образцов производилась на установках СФТ 2.150.00.00.000 и М473 по схемам, указанным на рисунке 1. Скорость относительного перемещения обрабатываемой поверхности и инструмента изменялась в пределах 0,7...2,5 м/с, магнитная индукция – 0,5...1,1 Т. Исходная шероховатость поверхности образцов находилась в пределах $Ra_1 = 2,5...3,5$ мкм. Обработка каждого образца производилась в течение одной минуты без изменения относительного движения инструмента и обрабатываемой поверхности, после чего осуществлялось измерение съема и шероховатости поверхности. Затем обработка продолжалась с изменением направления относительного перемещения.

Для обработки первого и второго типов валов по схемам (а) и (б), представленным на рисунке 2, введение полюсных наконечников в пазы невозможно, поэтому производилась объемная обработка с образованием теневых зон, частично обработанных поверхностей. В качестве образцов первого типа использовались валы с канавками и лысками, различных по глубине и ширине.

В качестве образцов второго типа использовались концевые фрезы с целью обработки стружечных канавок. При этом винтовые канавки фрезы, работая подобно шнеку, перемещают по ним ферроабразивный порошок к хвостовику, а магнитное поле непрерывно возвращает его в рабочую зону. Это обуславливает круговую траекторию движения частиц порошка. Данная ситуация способствует непрерывному обновлению их режущих кромок и допуску новых зерен в зону контакта с обрабатываемой поверхностью.

Третий тип поверхности наиболее удобно обработать по схемам, изображенным на рисунке 2, с введением в полость паза полюсного наконечника с определенными зазорами (δ_1 и δ_2).

На рисунке 2, б приведена расчетная схема для определения коэффициентов при обработке концентрических пазов.

Результаты эксперимента и их обсуждение. При обработке первого и второго типов валов опыт показал, что в процессе обработки без использования реверсивного движения в пазах образуется теневая поверхность, где интенсивность съема снижается или съем металла отсутствует как таковой. Максимальный съем происходит у края канавки или лыски и составляет 20...40 мкм, минимальный наблюдается на дне и постепенно затухал. Шероховатость поверхности у внешнего края канавки составляла $Ra_2 = 0,02...0,04$ мкм, на обработанных участках дна – $Ra_2 = 0,1...0,2$ мкм. Измерения на образцах второго типа показали, что наибольшая величина удаленного слоя, равная 15...20 мкм, наблюдается на задней поверхности непосредственно за ленточкой. Затем толщина снимаемого слоя постепенно уменьшается и во впадине имеет наименьшее значение, равное 1...2 мкм. На участках максимального съема шероховатость поверхности составляет $Ra_2 = 0,03...0,04$ мкм, а на дне канавки $Ra_2 = 0,12...0,16$ мкм. Планетарная схема обработки (см. рис. 1, б) показывает более равномерный съем металла, чем схема с оппозитно расположенными наконечниками (см. рис. 2, а), однако характер эпюры съема остается тот же. Подобные картины съема наблюдаются и для немагнитных материалов. Для изделий без резких перепадов глубины впадин и выступов существуют предельные величины коэффициентов, при которых можно обработать детали по рассмотренным схемам.

Для определения условий достижения качественных характеристик пазов при MAO концентрических канавок использовались следующие коэффициенты:

$$K_1 = \frac{D-d}{2L}; \quad K_2 = \frac{L-2\delta_1}{2\delta_1}; \quad K_3 = \frac{\delta_1}{\delta_2}, \quad (3)$$

где K_3 – коэффициент, характеризующий размеры рабочей части полюсных наконечников; δ_1 – зазор между дном паза и полюсным наконечником, мм; δ_2 – зазор между боковой поверхностью паза и полюсным наконечником, мм.

Коэффициент K_1 связан только с геометрическими размерами обрабатываемой поверхности и позволяет определить целесообразность проведения MAO. Коэффициент K_2 связывает размеры обрабатываемой поверхности с требованиями процесса обработки и геометрии полюсных наконечников. При $K_1 > 0,8$ использование MAO неэффективно, а при $K_2 < 1$ и малой ширине паза L использование MAO становится невозможным для изделий из ферромагнитных материалов. Коэффициент K_3 является расчетным и применяется для предварительного определения размеров рабочей части полюсных наконечников для выравнивания съема с боковых поверхностей и дна впадин. Величины рабочих зазоров (δ_1 и δ_2) рассчитываются исходя из требований, предъявляемых к обрабатываемой поверхности, магнитных свойств изделия и параметров обработки. Данный коэффициент, как правило, находится в пределах 0,25...2,5.

Лучшие результаты показывает схема, представленная на рисунке 2, б, где инструмент формируется на периферии полюсных наконечников, эпюра съема в этом случае меняется. При обработке широких пазов ($L > 8$ мм, $K_1 < 0,3$) съем материала на дне паза составляет 20...25 мкм, шероховатость $Ra_2 = 0,1...0,25$ мкм.

Однако при обработке более узких пазов при этом же значении K_1 картина съема резко меняется и более интенсивно обрабатываются края и боковые поверхности пазов. Съем на кромках пазов достигает 100...120 мкм и уменьшается ближе ко дну, а уже при $K_1 = 0,5$ дно паза не обрабатывается. Аналогичная картина наблюдается при обработке по этой схеме и плоских поверхностей с пазами. Такая схема позволяет более качественно производить обработку стружечных канавок металлорежущего инструмента, однако она уступает по производительности ранее рассмотренным схемам и не всегда удобна для обработки остальной части поверхности.

Использование схемы (см. рис. 1, г) для обработки плоских поверхностей с пазами глубиной до 3 мм более эффективно, чем использование предыдущей схемы. На рисунке 2, в представлена расчетная схема с эпюрой съема без применения реверсивного движения при обработке коротких поверхностей с пазами. В этом случае эпюра съема аналогична получаемым при обработке цилиндрических поверхностей по первым двум схемам. При $K_2 < 0,5$ дно паза обрабатывается не полностью даже при использовании возвратно-поступательного и реверсивного движений. Таким образом, при обработке плоских поверхностей с элементами впадин или пазов применение MAO эффективно к поверхностям с геометрическим коэффициентом $K_1 < 0,19$.

В таблице приведены данные, по которым можно судить о возможностях использования рассматриваемых схем, и основные режимы для MAO. Применение данных схем возможно только при $K_2 > 0,5$. Таким образом, можно подобрать оптимальные режимы и при наличии реверсивного движения осуществить обработку всей поверхности.

Зависимость обрабатываемой площади дна паза от его геометрических характеристик и режимов MAO

Параметры	Значение параметров																		
	0,10			0,12		0,15		0,17		0,19		0,20		0,23		0,24	0,27	0,30	
Коэффициент K_1	0,7			0,6		0,6		0,7		0,8		0,7		0,9		0,7		0,9	0,8
Магнитная индукция B , Т	1,5	1,2	1,5	1,2	2,0	1,5	1,0	1,5	2,5	1,5	1,2	1,5	1,5						
Скорость V , м/с	0,65	0,75	0,55	0,7	0,4	0,50	0,55	0,5	0,45		0,65		0,35	0,55	0,5	0,45			

Выводы. Метод MAO может применяться как финишная операция обработки прерывистых поверхностей в том случае, когда не предъявляются дополнительные требования к геометрической точности пазов и их кромок. Приведенные данные позволяют без дополнительной экспериментальной проверки принять решение по вопросу схемы и определения целесообразности использования MAO деталей, на поверхности которых требуется полирование пазов и впадин. Проиллюстрированы режимы MAO в зависимости от коэффициентов геометрической формы K_1 и перекрытия K_2 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Барон, Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущего инструмента / Ю.М. Барон. – Л., 1986. – 176 с.
2. Kampschulte, G. // Maschinenmarkt. – 1990. – V. 96. – № 38. – S. 71 – 81.
3. Uamaguchi Hitori, Shiumura Takeo, Kaneko Takiharo // Bull. Jap. Soc. Precis. End. – 1996. – V. 30, № 4. – P. 317 – 322.
4. Демиденко, Е.Н. // Современные проблемы машиноведения: тез. докл. V междунар. науч.-техн. конф. – Гомель, 2004. – С. 33 – 34.

Поступила 10.04.2008