

ка видов отказов из класса «изменение инерционных свойств ЭД канала  $X$ »;

$\tilde{K}_{\partial n_x} = K_{\partial n_x} + \Delta K_{\partial n_x}$  – значение коэффициента передачи датчика положения канала  $X$  с учетом прямого признака видов отказов из класса «изменение коэффициента передачи ДП канала  $X$ »;

$\tilde{K}_{редx} = K_{редx} + \Delta K_{редx}$  – значение коэффициента передачи редуктора канала  $X$  с учетом прямого признака видов отказов из класса «механический износ канала  $X$ ».

В силу идентичности каналов  $X$  и  $Y$  модифицированной ПСУП, все вышеприведенные для канала  $X$  рассмотрения справедливы и для канала  $Y$ .

### Заключение

В результате проведенных исследований представлено описание модифицированной позиционной системы управления перемещением в пространстве состояний в дискретной форме в работоспособном состоянии.

Предложена модифицированная ПСУП, в которой для обеспечения диагностируемости введена дополнительная структурная избыточность.

Определено множество видов отказов на основе анализа надежностных характеристик, опыта эксплуатации, вероятности возникновения отказов по оценкам экспертов.

Проведена параметризация множества видов отказов и сформированы классы видов отказов, что позволило описать модифицированную позиционную систему управления перемещением в пространстве состояний в дискретной форме в работоспособном состоянии.

Полученные модели функционирования модифицированной ПСУП в работоспособном и неработоспособном состоянии в дальнейшем предполагается использовать при построении диагностического обеспечения модифицированной позиционной системы управления перемещением.

### Список литературы:

1. Проблемы технического перевооружения промышленных предприятий // Мир техники и технологий. – 2002. – № 4. – С. 8.
2. Бурдюк А.П. Ремонт и модернизация систем ЧПУ // Мир техники и технологий. – 2002. – №2. – С. 22.
3. Кулик А.С., Нарожный В.В., Сальников А.В. Состояние и перспективы обеспечения активной отказоустойчивости станков с ЧПУ в период их модификации // Авиационно-космическая техника и технология: Сб. науч. тр. – Харьков: ХАИ, 2002. – Вып. 32. – С. 97 – 101.
4. Кулик А.С. Сигнально-параметрическая диагностика систем управления. – Харьков: Гос. аэрокосмический ун-т «ХАИ»; Бизнес Информ, 2000. – 260 с.
5. Кулик А.С. Автоматизация диагностирования систем управления летательных аппаратов. – Харьков: ХАИ, 1994. – 61 с.
6. Андреев Ю.Н. Управление конечномерными линейными объектами. – М.: Наука, 1976. – 424 с.
7. Мироновский Л.А. Аналоговые и гибридные модели динамических систем. – Л.: ЛИАП, 1985. – 115 с.
8. Кулик А.С. Обеспечение отказоустойчивости систем управления: Учеб. пособие. – Харьков: Харьк. авиац. ин-т., 1991. – 90 с.
9. Алгоритмическое обеспечение отказоустойчивости систем автоматического управления – обзор / В.М. Глузов, С.Д. Земляков, В.Ю. Рутковский, А.В. Силаев // Автоматика и телемеханика. – 1988. – № 9. – С. 3 – 33.

УДК.621.923.9

**С.Н. Нижник, инж., В.И. Куципак, инж., В.А. Матюхин, инж., О.В. Покатав, инж., В.Н. Фандеев, инж.**

## СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОМ ПОЛИРОВАНИИ ПЛОСКОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ И ВЛИЯНИЕ НА НИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

### Введение

Магнитно-абразивная обработка (МАО) представляет собой процесс обработки деталей в среде магнитно-абразивного порошка, удерживаемого силами магнитного поля в рабочей зоне. Магнитно-абразивный материал располагается между полюсами электромагнитов, создавая режущий инструмент,

плотностью которого можно варьировать в широких пределах, изменяя напряженность магнитного поля в зазорах.

### Формулирование проблемы

Удаление припуска при МАП осуществляется преимущественно абразивным путем с диспергиро-

ванием абразивного обрабатываемого материала в стружку, удалением возникающих химических пленок и пластическим выглаживанием поверхности заготовки нережущими участками зерен порошка. Для осуществления таких воздействий необходимы силы резания. При МАП появление таких сил обязательно наличие магнитного поля.

**Решение проблемы. Определение сил резания**

Экспериментально получены зависимости сил резания, действующие в рабочем зазоре при одностороннем МАП плоскости ферромагнитной заготовки (из стали 45) однополюсным электромагнитным индуктором. Определены силы резания  $P$ :  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$ , являющиеся результатом действия всех зерен порошка в рабочем зазоре, но приведенные к наружному диаметру вращающегося полюса индуктора, равному 100 мм (рис. 1).

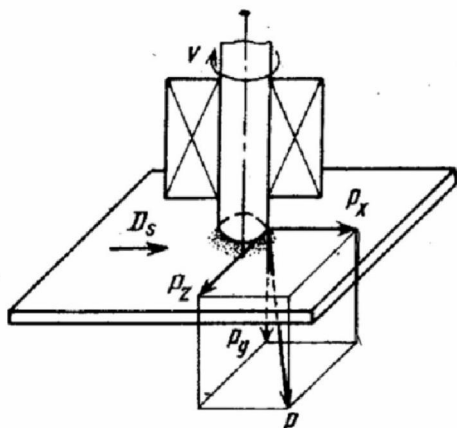


Рис. 1. Схема направления действия сил резания при полировании плоскости однополюсным электромагнитным индуктором

При этом главная составляющая силы резания  $P_z$  направлена так же, как скорость главного движения  $V$ , радиальная составляющая силы резания  $P_y$  действует перпендикулярно к обрабатываемой плоскости, а направление осевой составляющей силы резания  $P_x$  совпадает с направлением движения подачи  $D_s$ .

Основными технологическими факторами, влияющими на значение сил резания при плоском полировании, являются магнитная индукция в рабочем зазоре (усредненное значение), высота рабочего зазора  $\delta$ , зернистость порошка  $v$ , скорость главного движения резания  $V$ , движение подачи  $D_s$  и исходный параметр шероховатости  $Ra_1$ . Обобщенные зависимости от этих факторов для всех трех составляющих силы резания имеют вид [2]:

$$P_y = \frac{48B^{4,5} v^{0,8} Ra_1^{0,2}}{v^{0,5} D_s^{0,2} \delta^{0,4}};$$

$$P_z = \frac{616B^{0,5} D_s^{1,1} v^{0,2} Ra_1^{1,2}}{v^{1,6} \delta^{0,8}};$$

$$P_x = \frac{5600B^3 D_s^{0,8} v^{1,2} Ra_1^{0,2}}{v^{0,6} \delta^{1,3}}.$$

Наибольшее значение имеет радиальная составляющая силы резания  $P_y$ . В приведенном эксперименте на рабочей торцевой плоскости полюса не было концентраторов магнитного потока, расположенных перпендикулярно к вектору скорости главного движения резания  $V$ . Поэтому значения силы  $P_z$  оказались существенно (в 5—10 раз) меньшими, чем силы  $P_y$ . Основным фактором, влияющим на силу резания, является магнитная индукция. Увеличение скорости  $V$  способствует уменьшению сил  $P_y$  и  $P_x$ , а сила  $P_z$  при этом несколько возрастает. Порошки более крупной фракции создают и более высокие значения сил резания, причем особенно сильно размер зерна сказывается на значениях  $P_y$  и  $P_x$ . С увеличением исходного параметра шероховатости поверхности  $Ra_1$  из-за повышающихся сил трения в контакте порошка с заготовкой все составляющие силы резания возрастают на начальном этапе полирования. Особенно сильным оказывается влияние  $Ra_1$  на величину  $P_z$ . Приведенные выше формулы получены применительно к обработке незакаленной стали 45 и могут быть пригодны для случая обработки других ферромагнитных сталей с близкими механическими характеристиками. При окружной скорости полюса 0,8-2,0 м/с сила  $P_z = 80...100$  Н.

С помощью экспериментов установлено влияние на значение давления в зависимости от магнитных свойств заготовки, магнитной индукции в рабочем зазоре, высоты рабочего зазора. В табл.1 приведены значения давлений порошка при полировании материалов с разной магнитной проницаемостью при скорости главного движения резания  $V = 1$  м/с, высоте рабочего зазора  $\delta = 1$  мм, скорости движения подачи  $D_s = 100$  мм/мин.

Таблица 1. Давления порошка при полировании

Обрабатываемые материалы	$\mu$	Давление, МПа		
		$P_{max}$	$P_{среды}$	$P'_{max}$
Немагнитные: титановый сплав BT-3	1	0,094	0,059	0,621
Среднемагнитные: инструментальная сталь У8А	500	0,257	0,133	0,738
Высокомагнитные: конструкционная сталь Ст20	2000	0,262	0,135	0,745

В пределах рабочего зазора порошок оказывает неравномерное давление, как на заготовку, так и на индуктор (рис. 2).

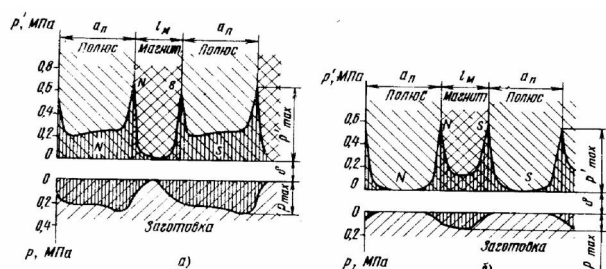


Рис. 2. Расчетные эпюры давления порошка на заготовку и индуктор с постоянными магнитами при полировании магнитной (а) и немагнитной (б) заготовок.

Увеличение высоты рабочего зазора  $\delta$  сопровождается уменьшением плотности магнитного потока и давлений порошка. При полировании детали из стали У8 (HRC<sub>3</sub> 43-45) увеличение  $\delta$  от 0,6 до 3,0 мм привело к снижению давления порошка на заготовку в 7,5 раза, а на индуктор – в 2,4 раза. При полировании немагнитных материалов такие же изменения  $\delta$  привели к снижению давлений на заготовку в 4 раза и на индуктор – в 1,5 раза.

Если одновременно с увеличением зазора  $\delta$  регулировать магнитную индукцию  $B$  на полюсах, поддерживая ее постоянной, то давление порошка на производительность полирования при съеме металла сохраняются примерно постоянными при  $\delta=0,6...2,0$  мм.

Увеличение магнитной индукции  $B$  в постоянном по высоте рабочем зазоре приводит к увеличению роста производительности в результате роста давлений порошка. Большие давления на поверхности полюса определяют большие силы трения в контакте зерен порошка с поверхностью полюса и меньшую свободу перемещений зерен относительно полюсов индуктора по сравнению с зернами, находящимися в контакте с заготовкой. Поэтому полированию подвергается именно поверхность заготовки, поскольку одним из необходимых условий полирования является относительное перемещение абразивных зерен и поверхности. Влияние скорости резания на давление порошка связано с действием вихревых токов, возникающих в материале электропроводной заготовки при ее движении относительно магнитного

индуктора. Поскольку значения вихревых токов пропорциональны скорости движения заготовки относительно индуктора, то и давление порошка зависит от скорости этого движения. Расчеты показали, что в диапазоне используемых при МАП скоростей (0 – 2 м/с) снижение давлений на магнитную заготовку незначительно и не превышает 3 %. В этом же диапазоне скоростей максимальные давления на индуктор возрастают на 3 %. Наиболее сильно сказывается на действующих давлениях влияние вихревых токов в заготовке при большой толщине полюсов магнитопроводов (рис. 3).

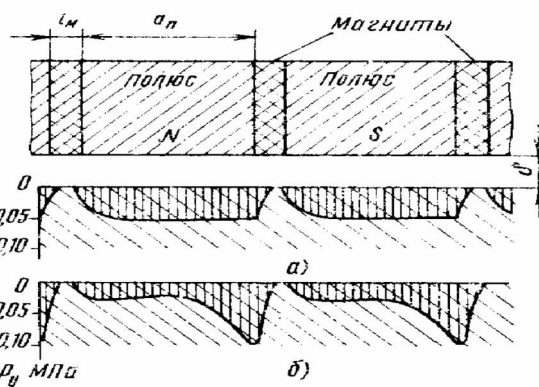


Рис. 3. Эпюры давления порошка на ферромагнитную заготовку при большой толщине  $a_n$  полюсов индуктора и скорости резания: а)  $V=0$ ; б)  $V=1$  м/с.

### Заключение

Качество обработанных поверхностей методом магнитно-абразивной обработки зависит и производительность данного метода зависит от многих технологических факторов, которые зачастую подбираются экспериментальным путем. Приведенные закономерности давления порошка в рабочих зазорах индукторов на постоянных магнитах позволяют правильно выбрать режимы полирования и оптимизировать конструкции таких индукторов.

### Список литературы:

1. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. – Л.: Машиностроение, 1986. – 270 с. 2. Отделочно-абразивные методы обработки / Л.М. Кожурко, А.А. Панов, Э.Б. Пономарева, П.С. Чистосердов. – Минск.: Высшая школа, 1983. – 180 с.