

УДК 621.923.044:669.292.34(045)(476)

МАГНИТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЕРРОАБРАЗИВНОГО ПОРОШКА НА ОСНОВЕ ВАНАДИЯ

Акулович Л.М., Сергеев Л.Е., Дечко М.М., Сенчуров Е.В. (УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Беларусь)

Предложен новый вид ферроабразивного порошка на основе ванадия, полученный методом литья и распыления, определены режимы магнитно-абразивной обработки для достижения высокой производительности.

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка, ферроабразивный порошок.

Введение

Гидроцилиндры широко применяют в гидросистемах как источники привода рабочих органов мобильных машин и исполнительных механизмов промышленного оборудования. В гидросистеме с одним, реже с двумя насосами может быть установлено до 6...10 гидроцилиндров, а в некоторых случаях в два или даже в три раза больше. По функциональным признакам гидроцилиндры – это объемные гидродвигатели, предназначенные для преобразования энергии потока рабочей жидкости в механическую энергию выходного звена с возвратно-поступательным движением. Причем подвижным звеном может выступать как шток, так и корпус (гильза) гидроцилиндра (рисунок 1) [1].

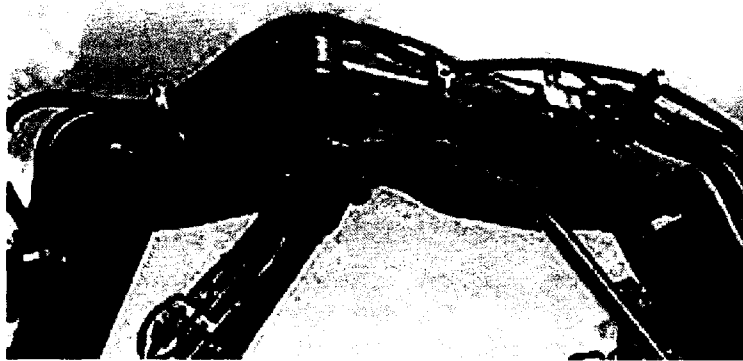


Рисунок 1. – Фотография гидроцилиндра с подвижным штоком

Без специального технологического оборудования для чистовой расточки и расточки внутренней поверхности гильз, шлифования и полирования штоков, обеспечивающего параметры шероховатости по ГОСТ 2789-73 рабочих уплотняемых поверхностей штоков и гильз гидроцилиндров, а также хромирования наружной поверхности штоков путем электролитического нанесения пленки толщиной 20...30 мкм невозможно изготовить коррозионно- и износостойкие штоки. Высота неровностей наружной рабочей поверхности штока после хромирования и полирования должна быть не более $Ra 0,16$ мкм, рабочей поверхности гильзы гидроцилиндра – $Ra 0,320$ мкм по ГОСТ 2789-73 [2].

Поэтому все материалы, используемые для их изготовления, должны быть устойчивыми к механическим воздействиям, чтобы не произошло выдавливания уплот-

нений в зазоры при высоком давлении и при возникновении радиальных нагрузок, вызывающих смещение штока относительно передней направляющей втулки или поршня относительно гильзы.

Основная часть

Для изготовления штоков гидроцилиндров современного технического уровня и качества необходимо специальное металлообрабатывающее и гальваническое оборудование, что требует организации производства с экологически вредным участком и больших финансовых затрат.

Традиционная технология изготовления штоков гидроцилиндров достаточно трудоемка, особенно при изготовлении крупногабаритных изделий с большой длиной рабочих поверхностей, которая выбирается исходя из требований к эксплуатации изделия с цилиндрами. При использовании в качестве заготовки горячекатаных прутков обработка наружных поверхностей выполняется в три и более операций, что требует значительных затрат времени и средств. Первой операцией при обработке длинномерных штоков является черновая обточка, необходимая для снятия дефектного поверхностного слоя и уменьшения исходных погрешностей формы и размеров. Затем производится полустовая и чистовая обработка и термообработка.

Так, например, штоки и плунжера, выпускаемые по одному типоразмеру, должны обрабатываться по наружной цилиндрической поверхности с параметром шероховатости $Ra\ 0,2...0,1$ мкм и по 2-му или 3-му качеству точности. Получение высокого параметра шероховатости хромированных поверхностей при достаточно большой производительности и точности геометрических параметров представляет серьезную проблему, которая решается разными путями. В условиях крупносерийного и массового производства получение наружных цилиндрических поверхностей с шероховатостью $Ra\ 0,4...0,1$ мкм обеспечивается на станках суперфинишированием. Однако относительно низкая производительность и высокая стоимость абразивного инструмента, в том числе и алмазного, являются недостатками процесса суперфиниширования и ограничивают его применение.

В условиях серийного и индивидуального производства наибольшее распространение получила машинно-ручная и ручная доводка и полировка при помощи наждачной бумаги типа Л1Э620×50П215А25-НМА ГОСТ 6456-82 или войлочных кругов с различными пастами. Эти технологические процессы не обеспечивают достаточно высокой производительности и стабильности шероховатости обрабатываемой поверхности и, кроме того, не поддаются автоматизации. Это приводит к необходимости поиска новых методов финишной обработки штоков гидроцилиндров и их использования для обработки как хромированных поверхностей, так и поверхностей под хромирование.

Одним из новых методов финишной обработки деталей машин является магнитно-абразивная обработка (МАО) [3, 4]. Метод позволяет получать на закаленных цилиндрических наружных поверхностях шероховатость $Ra\ 0,05...0,63$ мкм с высокой производительностью. Контур режущего инструмента (ферроабразивная щетка) в зазоре между обрабатываемой поверхностью и полюсным наконечником электромагнита формируется из ферроабразивного порошка (ФАП) силами магнитного поля при наличии смазочно-охлаждающего технологического средства (СОТС). ФАП находится в подвижно скоординированном состоянии, это позволяет управлять жесткостью режущего инструмента путем регулирования величины магнитной индукции [3-5]. Установлено [6], что на качество обработанной поверхности существенное влияние оказывает форма частиц ФАП, материал и состояние режущих кромок порошка.

Оптимальную геометрическую форму частицам ФАП можно придать с помощью технологии литья и присутствием в составе ФАП вязких компонентов, например, ванадия, который является пластичным металлом. При введении ванадия повышаются прочность, вязкость и износоустойчивость стали [7]. Однако необходимо учитывать соотношение компонентов, входящих в состав ФАП. Поскольку композиционные ФАП имеют сложную структуру (ферромагнитная матрица и твердый абразивонесущий поверхностный слой), то от его химического состава зависят технологические, эксплуатационные свойства порошка. Так, например, при добавлении в наплавочный порошок феррованадия установлено [8], что максимальная абразивная износостойкость ФАП обеспечивается введением в наплавочный порошок до 10 мас. % феррованадия, а увеличение массовой доли более 10 % снижает качество ФАП по параметрам фазового состава и напряженно-деформированного состояния покрытий. На основании проведенного анализа разработаны составы ФАП с содержанием ванадия 4, 6 и 8 % (таблица 1), которые изготовлены по технологии (рисунок 2). В индукционной сталеплавильной печи выплавляется сплав железа, углерода, ванадия. Струя расплава диспергируется водой высокого давления, и на поверхности частиц образуется пленка оксидов ванадия. Установка представляет собой индукционную сталеплавильную печь (емкость 160 кг) с кислой футеровкой и используется для выплавки отходов малоуглеродистой стали, графита и феррованадия. Контроль температуры производится оптическим пирометром. Подготовленный к распылению расплав переливали в предварительно нагретый футерованный шамотными изделиями металлоприемник, в котором имеются отверстия 8-10 мм, через которые расплав поступает в зону распыления. Грануляция струи расплава производится водой, которая из водяного насоса ($p = 80$ атм.) поступает в форсунку. В результате грануляции образуется порошок, который накапливается в его сборнике.

Таблица 1. – Состав предлагаемого ФАП

Компоненты ФАП	Массовая доля компонентов, %		
	Углерод	0,75	0,75
Ванадий	4	6	8
Железо	остальное		



Рисунок 2. – Схема производства ФАП

Форма и микроструктура ФАП, содержащего ванадий, показаны на рисунке 3.

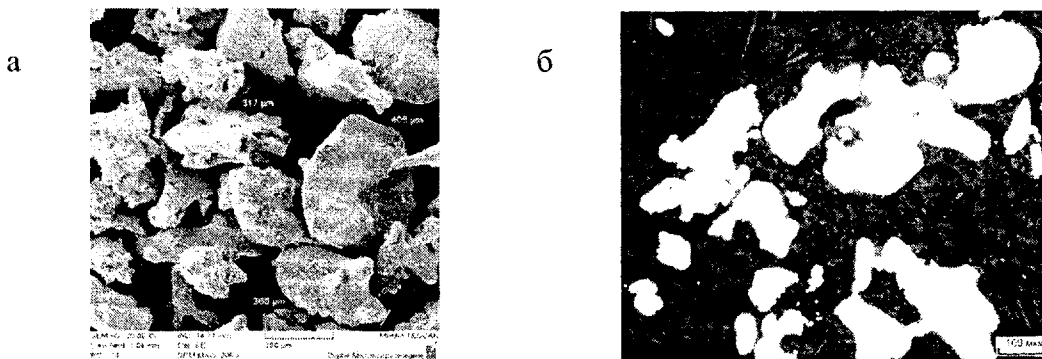


Рисунок 3. – Форма (а) и микроструктура (б) частиц ФАП, содержащих ванадий

С целью оптимизации режимов МАО с использованием ФАП с добавками ванадия выполнено экспериментальное исследование зависимости производительности МАО G [мг/мин] от режимов обработки и содержания ванадия в абразивном порошке. Опыты проводились на базе трехфакторного ротатбельного плана эксперимента, повторенного 3 раза для различного содержания ванадия в абразиве. Выбранные факторы, их интервалы варьирования и уровни указаны в таблице 2.

Таблица 2. – Варьируемые факторы и их уровни в натуральных и нормированных координатах

Технологические факторы	Скорость резания, V_p , м/с	Скорость осцилляции, $V_{осц}$, м/с	Магнитная индукция, B , Тл	Содержание ванадия, V , %
Нормированные факторы	X_1	X_2	X_3	X_4
Основной уровень (0)	1,5	0,17	1	6
Верхний уровень (+1)	2	0,22	1,1	8
Нижний уровень (-1)	1	0,12	0,9	4
Звездная точка (+ α) +1,682	2,34	0,25	1,17	-
Звездная точка (- α) -1,682	0,66	0,09	0,83	-

Для оценки дисперсии воспроизводимости использовали 6-ти кратное повторение опытов в центре ротатбельного плана. Дисперсия воспроизводимости, рассчитанная по 18-ти дублям в центральных точках ротатбельного плана, равна $S_{воспр}^2 = 0,199$. Коэффициенты регрессии вычислялись по методу наименьших квадратов.

Квадратичная модель оказалась неадекватной экспериментальным данным, поэтому для аппроксимации полученных результатов использована модель неполного кубического полинома вида:

$$Y = b_0 + \sum_{k=1}^4 b_k X_k + \sum_{\substack{l=k+1 \\ k=1}}^4 b_{kl} X_k X_l + \sum_{\substack{k=1 \\ k=1}}^4 b_{kk} X_k^2 + \sum_{\substack{l=k+1 \\ m=l+1 \\ k=1}}^4 b_{klm} X_k X_l X_m + \\ + \sum_{k=1}^4 b_{kk4} X_k^2 X_4 + \sum_{k=1}^3 b_{kkk} X_k^3.$$

Статистическая значимость коэффициентов регрессии оценивалась по критерию Стьюдента. Незначимые коэффициенты исключались из уравнения регрессии пошаговой процедурой. В результате получено следующее уравнение регрессии:

$$G = 11,52 - 0,90X_1 + 1,32X_2 - 2,53X_4 + 0,69X_1X_2 - 0,44X_2X_3 - \\ - 0,40X_1^2 - 0,43X_3^2 + 0,53X_4^2 + 0,48X_1X_2X_3 - 0,31X_1X_3X_4 + \\ + 0,67X_3^2X_4 + 0,39X_1^3 - 0,72X_2^3 + 0,18X_3^3.$$

Уравнение регрессии адекватно по критерию Фишера. Анализ коэффициентов регрессии показывает, что наиболее существенное влияние на производительность оказывают скорость резания, скорость осцилляции и содержание ванадия в абразиве. Содержание ванадия является наиболее влияющим фактором, существенно снижающим производительность с повышением его концентрации при любых режимах MAO. Ванадий – мягкий металл, поэтому его добавки снижают абразивные свойства режущего порошка, что и снижает производительность.

Влияние режимов MAO на производительность неоднозначно, о чем свидетельствует наличие многих эффектов взаимодействий в уравнении регрессии. Так на рисунке 4 видно, что высокую производительность можно получить сочетанием малой скорости осцилляции с малой скоростью резания или, напротив – при больших значениях того и другого. При $V_p = 1$ м/с, $V_{осц} = 0,09$ м/с или при $V_p = 2,34$ м/с, $V_{осц} = 0,22$ м/с достигается производительность, равная $G = 16 \pm 0,6$ мг/мин.

Для магнитной индукции выявлено оптимальное по критерию производительности значение $B = 1,1$ Тл, при котором прогнозируется производительность $G = 17,1 \pm 0,7$ мг/мин, если значения остальных факторов будут равны $V_p = 0,99$ м/с, $V_{осц} = 0,09$ м/с, $V = 4\%$ (рисунок 5).

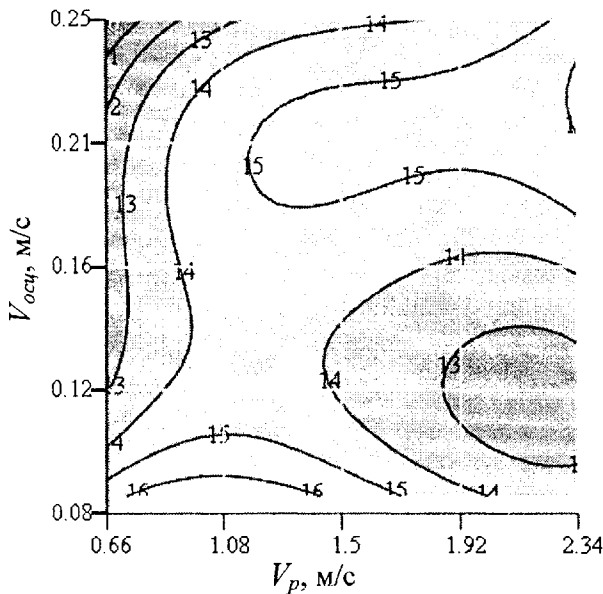


Рисунок 4. – Зависимость производительности MAO от скорости резания и скорости осцилляции при $B = 1$ Тл и содержании ванадия 4 %

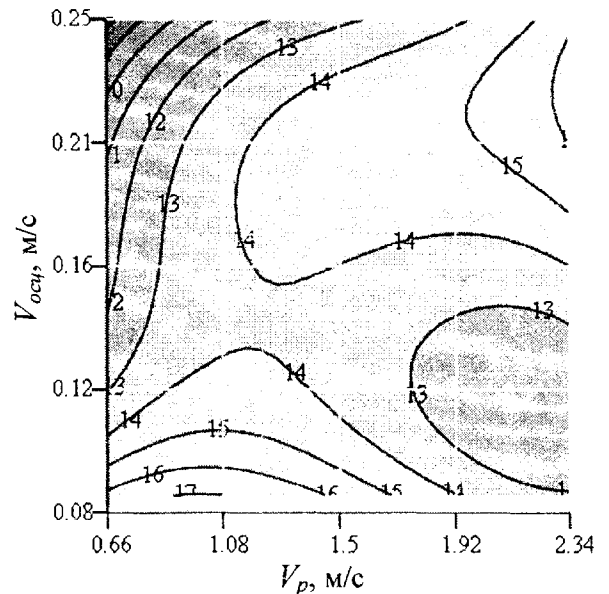


Рисунок 5. – Зависимость производительности MAO от скорости резания и скорости осцилляции при $B = 1,1$ Тл и содержании ванадия 4 %

Установлено, что для достижения высокой производительности G с помощью таких режимов MAO, как скорость резания и скорость осцилляции, необходимо повышать значение второго фактора. Это связано с тем, что рост величины $V_{осц}$ способствует увеличению угла атаки микронеровностей поверхности заготовки режущим контуром ферроабразивной «щетки» и соответственно длине стружки, чем обеспечивается рост массы снимаемого материала. Диапазон низких и высоких значений скорости резания при уменьшении скорости осцилляции характеризуется, в первом случае, уменьшением величины мощности резания, что снижает эффективность процесса съема материала, во втором случае, проскальзыванием ферроабразивных частиц относительно

микронеровностей обрабатываемой поверхности ввиду их подвижно скоординированного состояния в ферроабразивной «щетке».

Заключение

В результате проведенных исследований разработан ФАП для МАО на основе оксидов ванадия, и по результатам оптимизации можно заключить, что для достижения максимальной производительности $G = 17,1 \pm 0,7$ мг/мин необходимо обеспечить следующие режимы МАО: $V_p = 0,99$ м/с, $V_{осч} = 0,09$ м/с, $B = 1,1$ Тл, при содержании ванадия в ФАП 4 %.

Список использованных источников

1. Чемборисов, Н.А. Повышение эффективности обработки деталей с канальной винтовой поверхностью за счет комплексного моделирования инструмента и технологической операции: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Н.А. Чемборисов; Государственный технологический университет. – М., 1994. – 22 с.
2. Барон, Ю.М. Технология абразивной обработки в магнитном поле / Ю.М. Барон. – Л.: Машиностроение, 1975. – 127 с.
3. Влияние струйно-абразивной и магнитно-абразивной обработок на состояние рабочих поверхностей и режущих кромок сверл из быстрорежущей стали / А.А. Беляев [и др.] // Вестник двигателестроения. – 2007. – № 2. – С. 90-94.
4. Гнесин, Г.Г. Принципы создания магнитно-абразивных материалов / Г.Г. Гнесин, М.Д. Крыский, Л.Н. Тульчинский // Магнитно-абразивные материалы и методы их испытания. – 1980. – С. 17-25.
5. Кожуро, Л.М. Обработка деталей машин в магнитном поле / Л.М. Кожуро, Б.П. Чемисов. – Минск: Наука и техника, 1995. – 232 с.
6. Пумпянская, Т.А. Атлас структур порошковых материалов на основе железа / Т.А. Пумпянская, В.Я. Буланов, В.Г. Зырянов. – М.: Наука, 1986. – 264 с.
7. Федорченко, И.М. Энциклопедия неорганических материалов: в 2 т. / И.М. Федорченко. – Киев: Главная редакция Украинской советской энциклопедии, 1977. – Т. 1. – 822 с.
8. Иванова, Е.А. Структура и свойства износостойких электроннолучевых покрытий на основе азотистых твердых растворов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01 / Е.А. Иванова; Томский политехнический университет. – Томск, 2009. – 18 с.

Akulovich L.M., Sergeev L.E., Dechko M.M., Senchurov E.V.

Magnetic abrasive machining using ferro abrasive powder based on vanadium

Proposed a new kind of ferro abrasive powder based on vanadium, obtained by casting and spraying, determine the modes of magnetic-abrasive machining to achieve high performance.

Keywords: magnetic abrasive machining, ferro abrasive powder.

Поступила в редакцию 27.09.2018 г.