

МЕТОДЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ШТОКОВ ГИДРОЦИЛИНДРОВ

Л.М. Акулович,

профессор каф. технологии металлов БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

Л.Е. Сергеев,

доцент каф. технологии металлов БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Е.В. Сенчуров,

начальник отдела внедрения НТР НИИМЭСХ БГАТУ

Е.Г. Германович,

студент факультета технического сервиса в АПК БГАТУ

В статье рассмотрены методы технологического обеспечения износостойкости штоков гидроцилиндров. Установлено, что применение магнитно-абразивной обработки приводит к повышению их износостойкости на 15-20 %.

Ключевые слова: износостойкость, шток гидроцилиндра, магнитно-абразивная обработка, трение, микрорельеф.

The article describes the methods to ensure durability rods of hydraulic cylinders, it has been found that the application of magnetic-abrasive machining results in increased wear resistance by 15-20%.

Keywords: durability, hydraulic cylinder rod, magnetic-abrasive machining, friction, micro-relief.

Введение

Гидроцилиндры широко применяют во всех отраслях техники, где используют объемный гидропривод. Например, в сельскохозяйственных, строительно-дорожных, землеройных, подъемно-транспортных машинах, а также в технологическом оборудовании – металлорежущих станках и кузнечно-прессовых машинах. Управление движением штока гидроцилиндра осуществляется с помощью средств регулирования гидропривода, а условия их работы обуславливают различные виды взаимодействия поверхностей и, следовательно, и изнашивания.

Установлено, что кинетика процесса изнашивания во времени характеризуется тремя периодами: приработка, установившееся изнашивание, аварийное изнашивание [1]. Чтобы увеличить срок службы деталей гидропривода, работающих в условиях трения, следует до минимума сократить износ в период приработки и максимально увеличить продолжительность установившегося изнашивания. Этот период изнашивания характеризуется равновесием оптимальной структуры и микрорельефа поверхностей трения.

Адекватность устанавливаемых закономерностей изменения параметров трибологического состояния исследуемых сопряжений закономерностям, реально отображающим протекающие в них процессы, но уже в составе механизмов и систем при эксплуатационных режимах работы, определяется полнотой физического моделирования [2].

Основная часть

Период установившегося изнашивания и время наступления аварийного периода в высокой степени зависит от свойств поверхностного слоя, образовавшегося в период приработки. Поэтому процесс формирования микрорельефа и структуры этого слоя, а также его зависимость от вида финишной обработки определяет уровень контактной прочности и несущей способности узлов трения. В связи с вышесказанным, одним из основных путей достижения такого условия является технологическое обеспечение оптимальных параметров качества поверхностного слоя. Для оценки влияния условий обработки на износостойкость штоков гидропривода в период изнашивания были проведены сравнительные исследования методами магнитно-абразивной обработки (МАО) и шлифования.

Испытания проводились на машине трения 2070 СМТ-1 (рис. 1а) в условиях трения качения [3]. При шлифовании были выбраны следующие параметры и режимы: скорость вращения детали, $V_d = 50$ м/мин; скорость вращения круга, $V_k = 20$ м/с; продольная подача; $S_{пр} = 0,5$ м/мин; круг алмазный АСВ 125/100 МП 1. При МАО: величина магнитной индукции, $B = 0,9$ Тл; скорость резания, $V_p = 1$ м/с; скорость осцилляции, $V_o = 0,2$ м/с; амплитуда осцилляции, $A = 1$ мм; величина рабочего зазора, $\delta = 1$ мм; ферроабразивный порошок – Ж15КТ ТУ 6-09-483-81; смазочно-охлаждающие технологические средства – при шлифовании – «Укринол-1» – 3 % водный раствор, при МАО – 2 % водный раствор СинМА – 1 ТУ 38.5901176-91.



а) б)
Рисунок 1. Испытательная машина трения 2070 СМТ-1:
а – машина трения; б – рабочая зона машины трения

Материал контртела – бронза. Обрабатываемый материал – сталь 20Х ГОСТ 4543-71, 56-62 НРС. Измерения микротвердости осуществляли методом восстановленного отпечатка. Глубина изменения микротвердости H_{μ} оценивалась по методу косого среза. Микротвердость поверхности используемых образцов определяли на приборе ПМТ-3 согласно ГОСТ 9450-76 при нагрузке 0,49 Н. Наклонные срезы изготавливались на плоскошлифовальном станке ЗГ71 с магнитной плитой при интенсивном охлаждении эмульсией «Укринол-1» 3 % водный раствор.

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем: шток гидроцилиндра (\varnothing 40 мм, $L=113$ мм) устанавливался на шпиндель машины трения, колодка закреплялась с помощью винтов в державке. Радиальное биение штока гидроцилиндра не превышало 10 мкм. Пара трения шток-колодка (рис. 16) находилась в резервуаре со смазочным материалом. Коэффициент трения определялся по измерению момента трения, который регистрировался с помощью индуктивного датчика, встроенного в кинематическую схему машины. Температура в зоне контакта образцов измерялась с помощью термопары, которая устанавливалась в просверленном отверстии колодки диаметром 1,5 мм на глубине 1 мм от поверхности трения. Испытания проводились при частоте вращения 1500 об/мин и номинальном давлении $P_{ном}=17,5$ МПа. Интенсивность изнашивания определялась методом искусственных баз, которые наносились твердомером ПМТ-3. Массовый износ регистрировался на аналитических весах ВЛА-200 с погрешностью, равной 0,0001 г. В качестве смазочного материала использовалось промышленное масло И-20А ГОСТ 20779-88.

Измерение шероховатости R_a образцов до и после обработки осуществлялось на профилометре мод. 252-Калибр. Исследование остаточных напряжений 1-го рода σ осуществлялось методом Н.Н. Давиденкова. Удаление слоев металла производилось элек-

трохимическим методом со скоростью 0,05 мкм/с. Вычисление величин напряжений осуществлялось путем уточнений, внесенных М.А. Бабичевым и Л.А. Гликманом. Остаточные напряжения исследовались на глубине 5 мкм [4].

Измерение овальности поверхностей производилось на кругломере мод. 218. Была осуществлена регистрация результатов измерений электротермическим способом на круглограммах в полярных координатах (рис. 2). Радиальная погрешность при округлении отклонений от овальности на данном приборе составляла 0,1 мкм. Увеличение

равно 1250. Измерительное усилие было установлено – 0,15 Н.

Продукты износа после испытаний с образцов удаляли 10 % раствором лимоннокислого аммония,

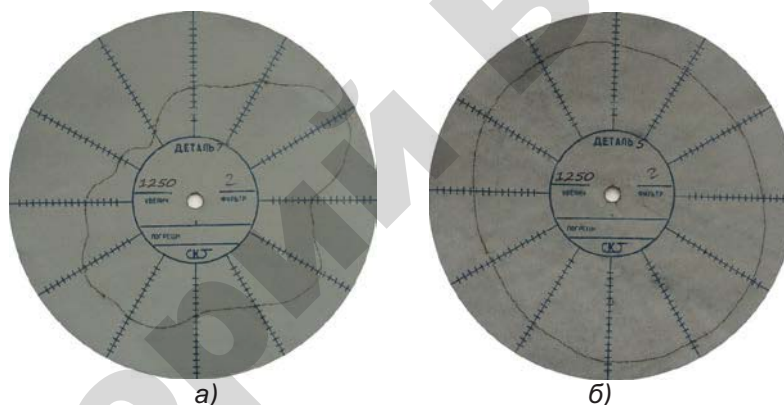


Рисунок 2. Круглограммы штоков гидроцилиндра после различных методов и режимов обработки: а – после шлифования, $\times 1250$; б – после МАО. $\times 1250$

нейтрализованного аммиаком. Испытания проводились при отсутствии доступа воздуха.

По результатам испытаний построены графики изменения момента трения и температуры в зоне контакта на пути трения 15000 м, что соответствует 1,5 ч работы машины трения при угловой скорости 1500 мин⁻¹ (рис. 3, 4, 5).

По рис. 3 можно установить период приработки и период, соответствующий установившемуся износу. На пути трения от 0 до 6000 м кривые отличаются на 15 %. Это свидетельствует о том, что пары трения после шлифования и МАО имеют различный период приработки. На пути трения от 6000 до 15 000 м, соответствующему установившемуся износу, момент трения образцов после МАО меньше, чем момент трения образцов после шлифования в среднем на 0,7 Н·м.

В период приработки (от 0 до 3000 м) температура в зоне контакта ролика с колодкой при МАО в сравнении со шлифованием начинает увеличиваться (рис. 4). На пути трения от 3000 до 15 000 м температура в зоне контакта образцов при МАО значительно отличается от температуры в зоне контакта образцов

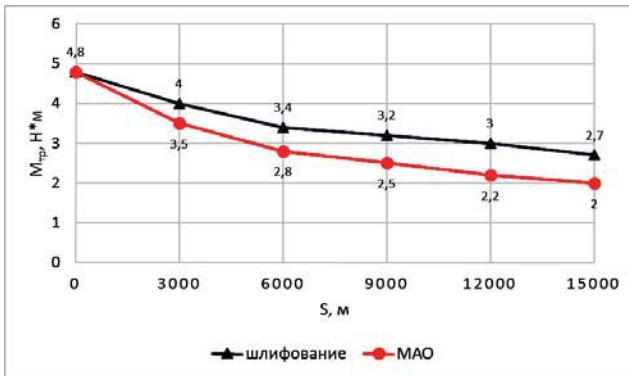


Рисунок 3. График изменения момента трения ($M_{тр}$) на пути трения (S) 15000 м

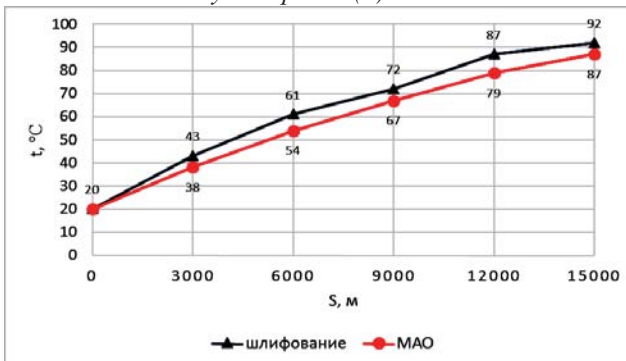


Рисунок 4. График изменения температуры в зоне контакта (t) на пути трения (S) 15000 м

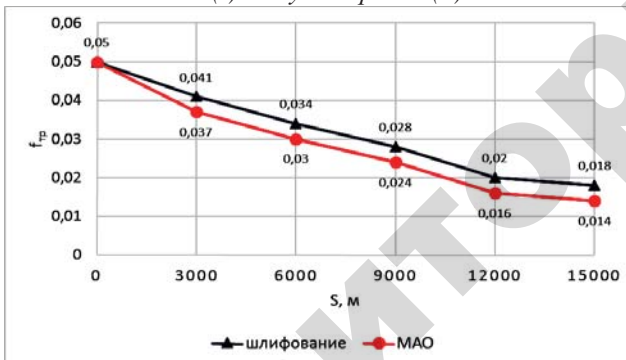


Рисунок 5. Изменение коэффициента трения ($f_{тр}$) на пути трения (S) 15000 м

при шлифовании. Максимальная разница температур составляет 8 °С, что свидетельствует о более низкой степени контактного взаимодействия трущихся поверхностей после MAO в сравнении со шлифованием.

Коэффициент трения скольжения $f_{тр}$ штока по колодке вычисляется по формуле:

$$f_{тр} = \frac{M_{тр}}{F_N \cdot R}, \quad (1)$$

где $M_{тр}$ – момент трения, Н*м;
 F_N – сила прижатия штока к колодке, Н;
 R – радиус штока, м.

После вычисления $f_{тр}$ по формуле 1, построен график изменения коэффициента трения, представленный на рис. 5.

Из рис. 5 видно, что практически на всем пути трения коэффициент трения штока при MAO меньше, чем коэффициент трения штока по колодке при шлифовании. Эти данные свидетельствуют о том, что использование процесса MAO при обработке штоков гидроцилиндров позволяет снизить трение в исследуемых образцах на 15-20 %.

После испытаний на машине трения СМТ-1 был определен массовый износ штоков гидроцилиндра. В результате обработки данными методами получают различные степени неоднородности структуры и физико-механические характеристики качества поверхности. Форма и связь между данными факторами, имеющими стохастическую природу, определялись на основе множественного регрессионно-корреляционного анализа.

В качестве независимых переменных были выбраны следующие параметры: Ra , мкм; H_μ , МПа; σ , Мпа; h , мкм. Известно, что значение и знак градиента сдвигового сопротивления поверхностного слоя определяет характер и интенсивность процесса изнашивания [5]. Поэтому при анализе влияния характеристик качества поверхности на износостойкость учитывался модуль параметра σ/h , значения которого определены по зависимости остаточных напряжений σ от параметров режима обработки и глубины поверхностного слоя h . Параметр σ/h представляет собой первую производную от функции $\sigma(h)$, вычисленную в точке $h=0$, т.е. на поверхности образцов, и характеризует интенсивность изменения остаточных напряжений в тонком поверхностном слое.

При исследовании эксплуатационных свойств анализируют, как правило, физико-механические характеристики качества обработки непосредственно поверхностного слоя. При этом не учитывают, что в случае контакта ювенильных поверхностей, вероятность которого возрастает в период приработки, градиент механических свойств поверхностного слоя будет определяться изменением физико-механических параметров качества поверхности в зависимости от глубины (до 10...15 мкм).

Средние показатели качества поверхности для 5-ти образцов и результаты испытаний на износ приведены в таблице 1.

В результате обработки экспериментальных данных получена следующая адекватная зависимость износа от характеристик качества поверхности для процесса MAO:

$$J = 22,74 Ra^{0,163} \cdot H_\mu^{0,214} \cdot \frac{\sigma}{h}^{0,307} \quad (2)$$

Множественный коэффициент корреляции равен 0,9, коэффициент множественный детерминации – 0,81. Следовательно, 81% всей вариации износа объясняется изменением характеристик качества поверхности, используемых в анализе. Степень влияния каждой из этих характеристик на износ определяли с помощью коэффициентов частной детерминации.

Влияние на износ параметров шероховатости объясняется известными положениями контактного взаи-

Таблица 1. Результаты испытаний на износостойкость после различных финишных методов

Шлифование				Магнитно-абразивная обработка			
Ra, мкм	H _ц , МПа	σ/h , МПа/мкм	J, мг	Ra, мкм	H _ц , МПа	σ/h , МПа/мкм	J, мг
0,89	582	4,21	218	0,09	675	6,03	107
0,74	468	3,09	194	0,08	593	5,12	97
0,9	606	4,91	177	0,11	715	5,47	109
0,79	677	5,03	190	0,1	803	636	115
0,83	515	4,37	183	0,09	611	5,88	104

действия твердых тел. Увеличение радиусов выступов уменьшает взаимное внедрение поверхностей, уменьшает напряжения на отдельных выступах, увеличивая запас прочности при переходе от упругого деформирования к пластическому. Большие высотные параметры шероховатости по сравнению с равновесными определяют возрастание механической составляющей силы трения в период приработки. Происходит интенсивное деформирование и смятие вершин отдельных выступов трущихся поверхностей под влиянием больших напряжений, возникающих на выступах. В период установившегося изнашивания формируется рельеф поверхности, оптимальный с точки зрения механических и молекулярных процессов взаимодействия.

Благоприятное влияние на износостойкость возрастания микротвердости поверхности объясняется увеличением жесткости поверхностных слоев и уменьшением глубины взаимного внедрения контактируемых поверхностей при механическом и молекулярном взаимодействии. Увеличение микротвердости препятствует также развитию пластического деформирования сопряженных поверхностей, оказывая первостепенное влияние на переход упругих деформаций в пластические.

Как видно из зависимости (2), наибольшее влияние на износ оказывает параметр σ/h . Положительное влияние сжимающих остаточных напряжений на износостойкость согласуется с основными положениями фрикционно-усталостной и молекулярно-механической теорий трения [5]. Остаточные сжимающие напряжения, возникающие в наружных слоях детали, приводят к повышению сопротивления распространению микротрещин в изделии. Деформирование под действием остаточных сжимающих напряжений снижает пики напряжений и выравнивает структурную неоднородность.

Согласно молекулярно-механической теории трения, в процессе трения и изнашивания одним из важнейших вопросов является характер разрушения постоянно возникающих адгезионных связей. Разрушение может происходить или по месту образовавшейся связи (адгезионное разрушение), или на некоторой глубине (когезионное разрушение). В соответствии с

этим И.В. Крагельский сформировал закон градиента сдвигового сопротивления, ставший одним из основных в науке о трении и износе. Для предотвращения когезионного разрушения необходимо, чтобы образовавшаяся адгезионная связь локализовалась в тонком поверхностном слое и была менее прочна, чем адгезионная связь глубже лежащих слоев (положительный градиент). Образование защитных пленок – одна из возможностей обеспечения положительного сдвигового градиента.

В условиях трения, особенно при повышенных температурах, вторичные структуры представляют собой различные оксидные пленки, основная роль которых заключается в предотвращении возможности образования металлических связей и замене их значительно более слабыми межмолекулярными вандерваальсовыми связями, что и обеспечивает формирование положительного градиента механических свойств поверхностного слоя.

Выводы

В результате проведенных испытаний на износостойкость штоков гидроцилиндров методами MAO и шлифования установлено, что применение MAO обеспечивает уменьшение момента трения в среднем на 0,7 Н*м, температуры – на 8 °С и коэффициента трения на 15-20%. Получение данных результатов объясняется более благоприятным микрорельефом и меньшей структурной неоднородностью поверхности штоков гидроцилиндров после MAO по сравнению с шлифованием.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маталин, А.А. Технология машиностроения: учеб. – 3-е изд., стереотип / А.А. Маталин – СПб.: М.: Краснодар: Лань, 2010. – 512 с.
2. Справочник по триботехнике: в 3-х т. Теоретические основы: Т.1 под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1989. – 400 с.
3. Обеспечение износостойкости изделий. Методы испытаний на износостойкость. Общие требования: ГОСТ 30480-97. – М.: Изд. Стандартов, 1997. – 11 с.
4. Давиденков, Н.Н. Избранные труды: в 2-х т. / Н.Н. Давиденков // Механические свойства материалов и методы измерения деформаций: т. 2. – Киев: Наукова думка, 1981. – 656 с.
5. Крагельский, И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М. Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 01.02.2016