

УДК 621.891

**ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЕ РАЗРУШЕНИЕ
МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ
ПРИ ТРЕНИИ О ТЕКСТИЛЬНЫЙ ПРОДУКТ**

С.А. ЕГОРОВ

(Ивановская государственная текстильная академия)

Контактирование металла с нитью вызывает на трущихся поверхностях ряд механических, химических и физико-

химических процессов, разрушающих поверхностные слои деталей. Это – трибострукция волокон, приводящая к образо-

ванию свободных радикалов, вступающих во взаимодействие с металлом и окружающей средой, адсорбция атомов и молекул волокна на металлической поверхности, диффузия адсорбированных атомов в глубь поверхности, гальваническое растворение и перенос атомов металлической поверхности.

Рассмотрим подробнее процессы, происходящие при трении волокон по алюминиевой поверхности прядильной камеры в процессе пневмопрядения.

Повышение производительности пневмомеханического прядения происходит в основном двумя способами: при увеличении частоты вращения прядильной камеры и при добавлении в смеску искусственных волокон. Оба эти способа повышают износ камеры.

На сборной поверхности камеры через 20...50 ч работы (в зависимости от перерабатываемого материала) появляются пунктирные вмятины по линии движения точки съема с краями, загнутыми по направлению закрутки нити. При дальнейшей работе эти следы износа соединяются в сплошную канавку, в которой и происходит дальнейшее формирование нити. Продолжающийся износ расширяет, а, главное, углубляет канавку, изменяя условия формирования нити и соответственно качество получаемой пряжи. Иногда износ достигает критической величины, когда стенка камеры прорезается насквозь и слышен характерный свист выходящего сжатого воздуха.

Попробуем выяснить причину повышенного износа деталей контакта с волокном при отсутствии смазывающей среды между ними. В процессе трения полимеров о металлическую поверхность происходит ее электризация. При фрикционном взаимодействии происходит ориентация сегментов молекул, полярных групп в направлении силы трения [1]. В результате взаимодействия возрастает адгезионная составляющая силы трения из-за электризации. Это приводит: а) к вырыванию микрообъемов из металлической поверхности; б) к притягиванию частиц пыли и загрязнению электризованной поверхности. Час-

тицы переноса могут достигать размера 10^{-10} - 10^{-11} мм³. Все эти процессы обусловлены состоянием поверхности. Могут возникать не только поверхностные, но и объемные электреты состояния [2].

Некоторые исследования подтверждают наличие электронного облака на поверхности металла [3]. Причем поверхность металла заряжается положительно и имеет заряд, равный по абсолютной величине заряду электронного облака. Сила взаимодействия между зарядами может сохраняться на расстоянии до 10 мкм. Такая система образует двойной электрический слой на поверхности.

Изучением явлений электризации поверхности занимались А.Д. Дубинин, Н.Г. Дроздов, Ю.М. Коробов, Г.А. Прейс и другие [4, 5, 6 и др.].

А.Д. Дубининым установлено, что удар стального шарика массой 30 г по поверхности приводит к появлению потенциала в 192 В. Н.Г. Дроздов обнаружил заряд на диэлектриках до 45 кВ. Между диэлектриками при трении может возникать поле напряженностью до 10^8 В/см и плотностью заряда до 10^{-5} Кл/см² [7].

На локальных участках зоны трения диэлектриков наблюдаются механоэмиссионные явления, сопровождающиеся ионно-электронной бомбардировкой [7]. Подобная бомбардировка способна, например, уменьшить модуль упругости поверхности дюралюминия Д16 почти в 2 раза.

Таким образом, учитывая сказанное выше: в процессе трения происходит последовательное смыкание и размыкание поверхностей при трении, что ведет к образованию зарядов и разрядов, подобных электроэрозионному процессу. При трении пары полимер-металл процесс происходит очень интенсивно и напоминает процесс растворения металлической поверхности [6], сопровождающийся разрыхлением кристаллической решетки, вырыванием микрообъемов металла и уносом частиц волокнистым полимером.

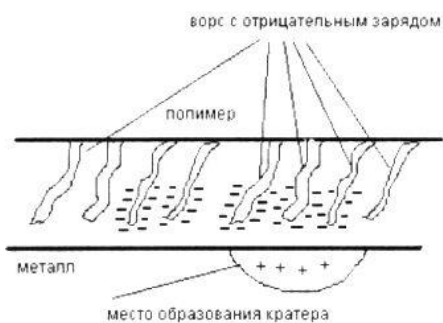


Рис. 1

Схема процесса, поясняющего физические процессы, происходящие при движении волокнистого полимерного материала по металлической поверхности, приведена на рис. 1.

Причины образования кратеров при эрозионном разрушении полностью до сих пор не изучены. Существует несколько рабочих гипотез, объясняющих этот процесс. К ним относится тепловая гипотеза, согласно которой искровой разряд, возникающий при размыкании электрических контактов, приводит к плавлению вещества и испарению. Н.И. Лазаренко и Б.Р. Лазаренко разработали электродинамическую теорию [8]. Они считают, что в момент протекания разряда под действием электродинамических сил на участке анода происходит выброс металла не только в виде паров, но и в виде твердой фазы. Б.Н. Золотых объясняет выброс металла при эрозии не только электрическими силами, но и результатом вскипания растворенного в металле газа во всем объеме прогретой лунки [9].

Процесс электрической эрозии проходит в три этапа – электрический пробой межэлектродного зазора при сближении контактных поверхностей трения, диспергирование материала и вынос продуктов из рабочей зоны.

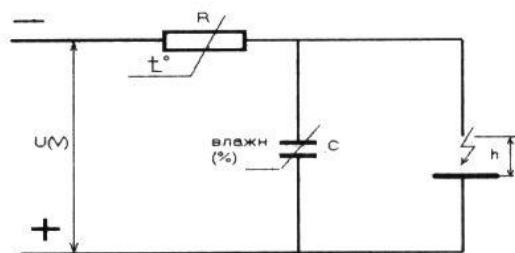


Рис. 2

Электрическая схема процесса электроэрозионного разрушения поверхности трения с RC-генератором изображена на рис.2 – верхняя половина схемы – полимерное волокно, нижняя половина схемы – металлический нитепроводник: $U(V)$ – разность потенциалов, возникающая между электризованными поверхностями полимера и металла (зависит от скорости относительного перемещения); R – активное сопротивление (зависит от температуры контакта и наличия пропитки волокна); C – емкость двойного электрического слоя, зависящего от влажности окружающей среды и влажности волокон полимера; h – межэлектродный зазор между полимер-электродом и металл-электродом. Заряжение поверхностей при трении происходит в результате перераспределения зарядов между поверхностями, нарушения химических связей и других процессов.

В зависимости от влажности окружающей среды и наличия адсорбированной влаги на поверхности полимера накапливается заряд. Знак заряда зависит от природы вещества полимера. Металлические поверхности почти всегда заряжаются положительно, а над поверхностью располагается отрицательно заряженное электронное облако. Хлопковое и льняное волокно заряжаются отрицательно, лавсановое, капроновое и стеклянное заряжаются положительно [10].

Разность потенциалов между поверхностями оказывается зависимой от накопленных зарядов. Образование и накопление зарядов происходит только при относительном перемещении (трении). Но трение сопровождается не только накоплением зарядов, но и в определенных участках поверхности пробоем межэлектродного зазора.

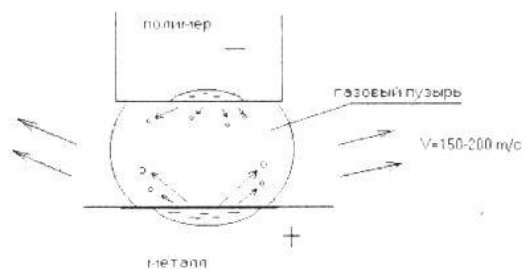


Рис. 3

Пробой сопровождается образованием канала проводимости, позволяющего пропустить ток большой силы (рис. 3, давление до 20 МПа). Разность потенциалов между электродами, приводящая к разрушению, может быть небольшой по величине. Определяющим для разрушения оказывается значение плотности тока.

Пробой происходит в течение 10^{-8} – 10^{-7} с на сосредоточенных контактах. Выделяется значительное для расплавления и испарения количество теплоты. Затем может происходить либо разбрызгивание расплавленного вещества вокруг канала проводимости за счет мгновенного изменения давления в канале, либо взрыв растворенных в металлической поверхности газов. В первом случае частицы металла, окислы и т.п. осаждаются вокруг кратера, образовавшегося на месте пробоя, во втором – уносятся потоком движущегося тела.

Эрозионное разрушение поверхности металла зависит от электрических режимов, теплофизических свойств контактирующих материалов. Передача температуры обусловлена эффектом Джоуля – Ленца и зависит от электрического сопротивления. С поверхности тепло передается вглубь в результате теплопроводности металлической поверхности.

Количество передаваемого тепла будет зависеть от того, какова частота возникновения разрядов. Частота разрядов зависит от относительной скорости перемещения контактирующих материалов и может достигать нескольких килогерц.

Под действием разряда происходит ионизация промежутка. Через канал проводимости протекает ток, при этом скорость нарастания его силы может достигать сотен килоампер в секунду. На границах канала происходит плавление металла, образуются лунки сферической формы. Вокруг канала проводимости из паров металла и жидкости образуется газовый пузырь. Давление в канале проводимости достигает 20 МПа. Газовый пузырь стремится расшириться, сжимая окружающую среду. Граница канала проводимости движется с высокой скоростью в радиальном направлении. Скорость расширения может дости-

гать 150...200 м/с.

На наружной границе образуется фронт уплотнения, в котором давление скачкообразно меняется от исходного в жидкости до высокого на границе, затем происходит отрыв ударной волны от газового пузыря и продолжение его расширения по инерции. В начале этой стадии в межэлектродном промежутке находится жидкий металл. Когда газовый пузырь достигает наибольшего размера, давление внутри него резко падает и расплавленный металл в лунке вскипает и выбрасывается в межэлектродный промежуток.

Если металл хрупкий, то возможно не только его плавление, но и скалывание отдельными крупными частицами. Количество расходуемого металла определяется энергией импульса ($Q = IUt$, где I – средняя сила тока, равная $(0,5-0,75)I_k$, где I_k – сила тока короткого замыкания), длительностью t импульса, частотой f импульсов; U – напряжение пробоя, равное 3...12 В; $t = 1/(qf)$, где q – скважность, равная отношению периода повторения импульсов к их длительности. Длительность импульса от 10^{-3} до 10^{-5} мкс. Форма импульсов может быть различной.

Обязательно происходит оседание вещества электрода-полимера, что создает дополнительные источники нагрева. Продуктами разрушения полимера являются углерод и его соединения. Его наличие на поверхности трения можно обнаружить различными методами.

При разбрызгивании на поверхности образуются новые сплавы, нитриды, карбиды, оксиды, интерметаллические соединения и прочее. Происходит диффузия элементов в глубь обрабатываемого металла, измельчение зерна в приповерхностном слое.

Интенсивность эрозионного разрушения зависит не только от электрических параметров, влажности и скорости относительного перемещения, а также от теплофизических свойств металлического нитепроводника. Ее можно определить по критерию Палатника [11]:

$$P = c\rho\lambda T^2, \quad (1)$$

где c – теплоемкость, кал·г/град; ρ – плотность, г/см³; λ – теплопроводность, кал·см²/град·г; T – температура плавления металла, °С.

Т а б л и ц а 1

Материал	Количество импульсов
Олово	8
Свинец	8
Алюминий	9
Цинк	9
Латунь ЛС59	41
Медь М1	52
Никель	63
Сталь Х12М	71
Железо	102

Если сравнить обрабатываемость различных металлов и сплавов электроэрозионной обработкой, то получим следующие данные [11] (табл. 1: количество импульсов, необходимых для выброса 1 мм³ материала).

Количество разрушаемого материала в единицу времени можно оценить по формуле:

$$\Pi = nfS, \quad (2)$$

где n – количество одновременно возникающих разрядов; f – частота искровых разрядов; S – площадь поверхности, разрушаемой единичным разрядом.

Т а б л и ц а 2

Материал нитепроводящей детали	Микротвердость, ГПа	Относительная износостойкость
Латунь Л159	1,10	1
Медь М1	0,72	1,66
Сталь Ст3	1,56	16,21
Сталь 20	1,85	17,86
Сталь У8А	7,60	32,68

В [12] было показано, что интенсивность изнашивания различных металлических и неметаллических материалов шерстяной нитью зависит от микротвердости поверхности (табл. 2 – сравнение износостойкости различных материалов при изнашивании шерстяной пряжей [12]: шерстяная пряжа 20 текс, арт. №888, скорость 5 м/с, нагрузка 0,4 Н). Но медь ведет себя аномально в этих условиях (табл. 2). Если исходить из электроэрозионной теории разрушения металлических материалов при трении о волокнистый материал, то заметна зависимость относительной износостойкости материалов (табл. 2) от эрозионной стойкости (табл. 1).

Таким образом, следуя представленной гипотезе электроэрозионного разрушения поверхностей при трении, на процесс изнашивания оказывают влияние:

- эрозионная стойкость материала нитепроводника;
- изолированность деталей от общего контура заземления. Некоторые детали подвержены большему воздействию из-за изолированности от машины;
- наличие в трибоконтакте (межэлек-

тродном пространстве) неэлектропроводной среды. Наличие нетокопроводных пленок на поверхности трения приводит к снижению износа (оксиды, стекло, фарфор и т.д.). То же происходит и при увлажнении волокна – заряд с волокна частично стекает или изменяется электрическое состояние поверхностного слоя при наличии поверхностно-активных веществ;

– наличие одинаковых или различных по знаку зарядов на поверхностях трения. На износ металлической поверхности существенно влияет знак заряда, накапливаемого волокном (отрицательный заряд хлопкового волокна приводит к меньшему износу, чем положительный). Это объясняется состоянием металлической поверхности при трении;

– наличие в трибоконтакте абразива увеличивает интенсивность износа, способствуя удалению защитных нетокопроводных пленок.

Шероховатость поверхности. Уменьшение микронеровностей приводит к снижению износа, так как пробой межэлектродной среды происходит по микровыступам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трение полимеров / Белый В.А., Свириденко А.И., Петроковец М.И., Савкин В.Г. – М.: Наука, 1972.
2. Климович А.Ф., Гузенков С.И. // Трение и износ. – 1989. №5, Т. 10. С.779...785.
3. Кунин Л.Л. Поверхностные явления в металлах. – М.: ГННТЛ, 1955.
4. Антифрикционные полимерные материалы в узлах трения подвижного состава. – М.: Транспорт, 1970.
5. Бартенев Г.М., Лаврентьев В.В. Трение и износ полимеров. – М.: Химия, 1972.
6. Белый В.А., Свириденко А.И., Дубровский В.С. О регулировании фрикционных свойств композиционных материалов // ДАН СССР. – 1974, №3. С.624...626.
7. Кащеев В.Н. Процессы в зоне фрикционного контакта металлов. – М.: Машиностроение, 1978.
8. Лазаренко Б.Р. Электрические методы обработки металлов и сплавов. – НТО, Машпром, 1961.
9. Золотых Б.Н. Физические основы электроискровой обработки. – М.: Гостехиздат, 1953.
10. Соколов В.П. Исследование влияния электризации текстильных нитей на износ материалов нитепроводящих деталей // Межвузовск. сб.: Конструкторские, технологические и эксплуатационные методы и экономические аспекты повышения качества и надежности текстильного оборудования. – Иваново: ИХТИ, 1982. С.42...44.

11. Подураев В.Н., Камалов В.С. Физико-химические методы обработки. – М.: Машиностроение, 1973.

12. Бердников А.Ю., Соколов В.П., Сытняк В.С. Оценка износостойкости материалов нитепроводящих деталей, применяемых для текстильной переработки шерстяной пряжи // Межвузовский сб.: Конструкторские, технологические и эксплуатационные методы и экономические аспекты повышения качества и надежности текстильного оборудования. – Иваново: ИХТИ, 1982. С.55...58.

13. Букалов Г.К. Развитие теории взаимодействия текстильного продукта с нитепроводящими рабочими органами и методов повышения их износостойкости: Дис...докт.техн.наук. – Кострома, 2001.

14. Годлевский В.А. Исследование возможности активации смазочно-охлаждающих жидкостей методом поверхностного электрического заряжения зоны резания: Дис...канд.техн.наук. – Иваново, 1982.

15. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбаров М.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977.

16. Постников С.Н. Электрические явления при трении и резании. – Волго-Вятск. кн. изд-во, 1975.

17. Прейс Г.А., Дзюб А.Г. // Трение и износ. – 1980, т. 1, № 2. С.217...235.

Рекомендована кафедрой технологии текстильного машиностроения. Поступила 29.01.04.