

состоящего из импульсов единичной высоты случайной длительности, сменяющихся паузами также случайной длительности. Плотность вероятности поступления грузопотока может быть представлена в виде $P_Q(\mu, t) = \mu \exp[-(\lambda + \mu)t]$, плотность вероятности отсутствия грузопотока — $q_Q(\lambda, t) = \lambda \exp[-(\lambda + \mu)t]$, где λ и μ — интенсивность поступления и отсутствия грузопотока соответственно, $\lambda = 1/T_n$, $\mu = 1/T_o$, где T_n и T_o — среднее время поступления и отсутствия грузопотока соответственно.

Таким образом, ленточный конвейер можно рассматривать как систему со случайными периодами выполнения производственного задания (транспортирование груза). Импульсный процесс $\varphi_Q(t)$ является одним из входных процессов модели надежности конвейера, следовательно, ленточный конвейер должен рассматриваться как неавтономная система.

Наличие ежесуточной ремонтной смены также отображается на входе надежностной модели конвейера импульсным процессом $\varphi_{p.e.}(t)$ с постоянной длительностью импульсов и постоянным периодом их появления, равным одним суткам — этот процесс является детерминированным.

Импульсные процессы $\varphi_Q(t)$ и $\varphi_{p.e.}(t)$, накладываясь на периоды наработки конвейера между отказами и периоды восстановления после отказов, искажают причинно-следственные связи простоев конвейера с техническими, технологическими и организационными причинами, фиксируемыми, как правило, в журналах учета простоев. Поэтому действительную картину надежностного процесса в ленточном конвейере можно установить только по теоретической или имитационной модели этого процесса.

Дополнительное искажение в фиксируемую при производственных наблюдениях информацию вносит и наличие у многих элементов конвейера резерва времени. Однако проявление этой особенности в значительной степени зависит от принятой системы технического обслуживания и ремонта конвейера.

Заключение. В связи с указанными особенностями надежностных процессов в ленточном конвейере для оценки его надежности становятся практически неприемлемыми наиболее часто употребляемые простые показатели надежности, в связи с чем необходимо использовать дополнительные и специальные показатели, которые носят системный характер. Таким образом, надежностная модель ленточного конвейера должна быть не только неавтономной, но и многофункциональной.

Список цитируемых источников

1. Галкин, В. И. Методы расчета и оценки показателей надежности ленточных конвейеров горных предприятий : дис. ... д-ра техн. наук / В. И. Галкин. — М., 2000. — 454 л.
2. Захаров, Ю. Н. Ленточные конвейеры горной промышленности: исследования и проектирование : монография / Ю. Н. Захаров. — Гродно : ГГАУ, 2013. — 417 с.
3. Шешко, Е. Е. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий / Е. Е. Шешко, В. Г. Дмитриев, И. В. Запенин. — М. : Изд-во МГУ, 2005. — 543 с.

УДК 621.785.5

И. В. Булат, Н. В. Белова, С. А. Саханько

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИОННОГО АЗОТИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ УСТАНОВОК С ГОРЯЧЕЙ И ХОЛОДНОЙ СТЕНКАМИ

Введение. Технологическими факторам, влияющими на эффективность ионного азотирования, являются температура процесса, продолжительность насыщения, давление, состав и расход рабочей газовой смеси. Конструктивно установка ионного азотирования состоит из рабочей камеры, системы электропитания, газовакуумной системы и системы охлаждения [1].

На данный момент в мире используется условно два типа установок ионного азотирования — установки с пассивными горячими стенками. К таким относятся установки, вакуумные камеры которых имеют экранную теплоизоляцию из листового металла: в таких камерах теплообмен между садкой и водоохлаждаемой стенкой происходит через пакет экранов и температура внутреннего экрана, обращенного к садке, зависит от количества экранов, температуры садки [1—5]. Если в камере отсутствуют теплозащитные экраны, то такую камеру можно классифицировать как «камера с холодными стенками». Недостатком такой конструкции является большой градиент температуры между наружными и внутренними ча-

стями садки, а также повышенный расход электроэнергии; как правило, такие установки имеют источники питания большой мощности — сила тока может составлять 2 000 А и более [6].

В установках с горячими стенками нагрев садки деталей комбинированный — частично от стенок, а частично тлеющим разрядом. Цикл разогрева садки в таких установках начинается с разогрева стенки камеры, детали нагреваются либо конвективно посредством внутреннего вентилятора, либо посредством излучения от стенки до температуры 200—300 °С и более, а далее, при достижении в камере определенного вакуума, зажигается разряд и происходит комбинированный нагрев. Таким образом, в установках с «горячими» стенками для поддержания температуры садки на необходимом уровне можно снизить мощность тлеющего разряда по сравнению с такой же камерой, имеющей холодные стенки. Однако следует помнить, что тлеющий разряд должен оставаться аномальным, т. е. вся садка должна быть покрыта свечением разряда.

Целью настоящей работы является определение области существования тлеющего разряда в аномальном виде для установки с активными горячими стенками применительно к реализации процессов обработки изделий из инструментальных сталей. Задачей экспериментов было определение параметров тлеющего разряда — плотности тока и напряжения на электродах — в зависимости от разности температур между садкой и горячей стенкой, которая подогревалась нихромовым нагревателем.

Основная часть. Параметры режима упрочняющей обработки методом ионного азотирования являются взаимосвязанными, поэтому энергетические характеристики тлеющего разряда не могут в определенной мере выбираться произвольно, так как для обеспечения, например, требуемой температуры для каждой конкретной садки и геометрии разрядной камеры устанавливаются некоторые комбинации энергетических показателей разряда — тока и напряжения разряда. При назначении режима обработки руководствуются, прежде всего, требованиями конструкторской документации по параметрам азотированного слоя — глубине и поверхностной твердости. Особенностью азотирования деталей из инструментальных сталей является то, что из-за наличия в них больших концентраций легирующих элементов, а также углерода возможно образование хрупкого нитридного слоя, который может ухудшить эксплуатационные характеристики изделий после азотирования. Немаловажным фактором упрочняющей обработки методом ионного азотирования штамповой или литейной оснастки является то, что поверхность таких изделий имеет очень высокую степень чистоты: задачей упрочняющей обработки является, помимо повышения твердости, также и сохранение этой высокой степени чистоты после азотирования. Так, например, рабочие поверхности матриц, прижимов и выталкивателей вытяжных штампов, вырубных штампов должны иметь 10-й класс чистоты [1]. Как известно из [1—4], ионное азотирование изменяет шероховатость поверхности: у деталей, имеющих высокий класс чистоты поверхности, происходит ухудшение качества, а у деталей с низким классом чистоты — наоборот, улучшение качества. Причиной этого является распыление поверхности изделия, которое может произойти как при разогреве садки деталей, осуществляемом в разряде путем ионной бомбардировки поверхности, так и на стадии выдержки, в зависимости от режима обработки. Таким образом, уже на стадии разогрева вследствие распыления поверхности детали ее шероховатость может ухудшиться.

Распыление материала начинается после того, как энергия ионов превысит некоторую пороговую энергию; для железа (основа инструментальных сталей) пороговая энергия ионов аргона составляет 14—20 эВ [2].

Процесс ионного азотирования состоит из нескольких последовательных этапов, характеризующихся определенными технологическими и физическими особенностями. После вакуумирования рабочей камеры до некоторого остаточного давления на детали-катод подается напряжение (пульсирующее или постоянное), затем постепенно идет увеличение подаваемой мощности — это процесс очистки деталей ионной бомбардировкой. Для того чтобы этот процесс протекал эффективно, разрядное напряжение должно быть на уровне 600 В и более. В течение данного цикла (шага или сегмента процесса) происходит зарождение микродуг, которые очищают поверхности от остатков моющего средства, окислов и других загрязнений. Если же разогрев осуществлять горячей стенкой, то при нагреве поверхности деталей происходит их очистка от остатков влаги, моющего средства путем испарения в вакууме, следовательно, напряжение питания разряда может быть существенно меньше.

После того, как разряд начинает гореть стабильно, в камеру подается плазмообразующий газ, путем постепенного увеличения мощности детали разогреваются до необходимой температуры. Естественно, что чем больше удельная мощность разряда, тем больше интенсивность разогрева деталей. В случае камеры с горячими стенками разогрев можно осуществлять в основном стенкой, а на долю тлеющего разряда остается лишь очистка поверхности деталей ионным потоком при невысоком напряжении горения разряда. При ионном азотировании интенсивность распыления поверхности зависит от величины плотности тока и катодного падения потенциала [5]. Ионы в катодном слое приобретают энергию только на длине свободного пробега, т. е. когда не происходит их перезарядка на атомах или молекулах [6]. Поэтому, чем выше давление в камере и чем меньше приложенное к катоду напряжение, тем меньшую энергию могут приобрести ионы, соответственно, тем менее эффективно будет происходить распыление, а следовательно, и изменение шероховатости поверхности.

Задавая определенное давление в камере и мощность тлеющего разряда в установке с горячими стенками, можно обеспечить сохранение высокой чистоты поверхности деталей.

Эксперименты на установке с горячими стенками проводились при давлении в камере 137 Па, температура садки составляла 508—515 °С, площадь обрабатываемой поверхности составляла 12,07 м².

Рабочей средой служила смесь газов аргона, азота и водорода. Задачей экспериментов было определение параметров тлеющего разряда — плотности тока и напряжения на электродах — в зависимости от разности температур между садкой и горячей стенкой, которая подогревалась нихромовым нагревателем. Разность температур между садкой и горячей стенкой составляла от 3 до 30 °С. На рисунке 1 приведено изменение напряжения катод-анод, силы тока разряда и плотности тока как функции разности температур садка-стенка ($\Delta T = T_c - T_{ст}$).

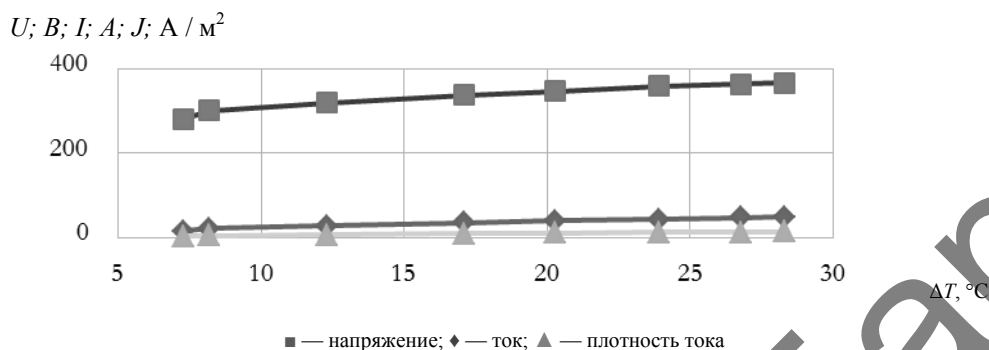


Рисунок 1 — Изменение напряжения катод-анод, силы тока разряда и плотности тока как функции разности температур садка-стенка

Анализ полученных данных показывает, что реальная плотность тока составила от 1,24 до 4,05 А / м² при значении нормальной плотности тока для данной температуры 0,63 А / м². Следовательно, разряд в данном случае существовал в виде аномального, т.е. вся садка деталей была покрыта свечением. С помощью графика из [1] по величине J/p^2 было определено значение катодного падения потенциала для данного диапазона разности температур. Соответствующие значения напряжения катодного падения потенциала составили от 228 до 320 В, что по данным работы [1] гарантирует при данном давлении минимальную энергию ионов — ниже порога распыления железа ионами аргона. Ранее [3] было показано, что для формирования азотированного слоя на стали 4Х5МФС, требуемого для штамповой и литейной оснастки из данной марки стали, значение плотности потока азота на стадии выдержки должно быть на уровне 1,5—2 л / час · м². Если считать, что максимальная доля азота в рабочей смеси может достигать 90 %, то минимальная допустимая плотность тока должна быть, соответственно, 1,86—2,48 А / м², что вполне укладывается в диапазон полученных значений (см. рисунок 1).

Закключение. Проведенные исследования по влиянию разности температур между садкой и горячей стенкой для рабочего диапазона упрочняющей обработки инструментальных сталей методом ионного азотирования на параметры тлеющего разряда показали, что в диапазоне разности температур от 12 °С и выше параметры разряда соответствуют критерию существования его в виде аномального, при этом обеспечивается необходимая химическая активность разряда и низкое значение катодного падения потенциала, исключающее распыление поверхности.

Список цитируемых источников

1. Саханько, С. А. Технологические особенности ионного азотирования изделий из инструментальных сталей для горячей и холодной обработки / С. А. Саханько, М. Н. Босьяков, М. В. Нерода // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. — 2018. — № 4. — С. 13—15.
2. Саханько, С. А. Эффективность применения метода ионного азотирования для упрочнения изделий из стали 13X14N3B2ФР-Щ / С. А. Саханько, М. Н. Босьяков, М. В. Нерода // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр. : в 3 кн. — Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2018. — Кн. 2 : Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки. — С. 235—243.
3. Исследование влияния концентрации легирующих элементов и температуры в процессе ионно-плазменного азотирования на прирост твердости сталей 4Х5МФС, Р6М5 и 13Х / С. А. Саханько [и др.] // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. — 2017. — № 4. — С. 43—46.
4. Берлин, Е. В. Плазменная химико-термическая обработка поверхности стальных деталей / Е. В. Берлин, Н. Н. Коваль, Л. А. Сейдман. — М. : Техносфера, 2012. — 464 с.
5. Пастух, И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / И. М. Пастух. — Харьков : ННЦ ХФТИ, 2006. — 364 с.
6. Ионная химико-термическая обработка сплавов / Б. Н. Арзамасов [и др.]. — М. : Изд-во МГТУ им. Баумана, 1999. — 400 с.