

УДК 669.017.3:532.529.5

А.И. Денисенко

АНАЛИЗ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭФФЕКТА ГАЛОПИРОВАНИЯ ПРИ ИНЖЕКЦИОННОМ СИНТЕЗЕ ТОНКИХ ЛЕНТОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

Анотація. Розглядаються прояви галопування тонкого стрічкового композитного електроду, який формується із використанням інжекції в його поверхню мікрочасток електрохімічно активних речовин і переміщується відносно надзвукового двофазного струменя, що інжектуює.

Введение и анализ публикаций

Создание композитных функциональных материалов с заранее заданными свойствами – одно из наиболее перспективных направлений удовлетворения потребностей общества в новых материалах специализированного назначения. Разработка и изготовление таких материалов связаны с формированием развитой мезоструктуры и предусматривают внедрение современных наукоемких технологий [1].

Разрабатываемая с применением инжекционного метода технология синтеза композитного слоя электродов первичных и вторичных источников электропитания [2, 3] включает транспортировку порции электрохимически активного (преимущественно оксидного) порошка в сверхзвуковое сопло, розгон в сопле двухфазной струи, которая состоит из газа и микрочастиц порошка, а также ударное торможение дисперсной фазы на подкладке. Микрочастицы, разогнанные до сверхзвуковых скоростей, при столкновении с подкладкой внедряются в нее, формируя приповерхностную композитную структуру [2].

Значительную технологическую перспективность для формирования тонких ленточных композитных электродных структур инъекцией двухфазной струи микрочастиц дисперсной фазы из литированных окислов металлов в приповерхностный слой проводника имеет применение металлической ленты, перемещаемой относительно действующей на нее двухфазной струи.

© Денисенко А.И., 2010

Характерной чертой поведения для разных сложных систем (электрoхимических, физических, экологических и др.), удаленных от состояния термодинамического равновесия, является динамическая неустойчивость (нестабильность) их стационарных состояний [4], что приводит при определенных условиях к колебательному режиму – периодическому или хаотическому. Так, например, при высокоэнергетическом воздействии двухфазной струи на движущуюся металлическую ленту, экспериментально наблюдаются кинетические фазовые переходы, которые проявляются возникновением диссипативных структур [5,6].

Постановка задачи

В связи с тем, что движение тонкой металлической ленты в инжекционной камере является необходимой технологической компонентой синтеза тонких ленточных электродов, формуемых с применением инъекции микрочастиц литированных оксидов металлов в приповерхностный слой ленты сверхзвуковой двухфазной струей, исследования механизмов дефектообразования для минимизации или устранения условий, их порождающих, представляются актуальными.

Основная часть

Программно-аппаратный комплекс для инжекционного синтеза композитного функционального слоя на поверхности тонких ленточных электродов источников сохранения и превращения энергии, включает группу устройств, которые непосредственно влияют на движение обрабатываемой металлической ленты: сверхзвуковое сопло, предназначенное для разгона микрочастиц оксидов до высоких скоростей; нагреватели поверхности ленты и транспортирующего микрочастицы газа; лентопротяжное устройство, включающее подающий и принимающий ролики, обеспечивающие натяжение ленты, а также приводной (опорный) валик; инжекционная камера с расположенным в ней опорным валиком для позиционирования поверхности электродной ленты относительно среза сопла, пылезащитными щелями в корпусе камеры для входа и выхода ленты, а также патрубком вытяжки, оснащенной системой сбора остаточного напыляемого материала.

В процессе работы программно-аппаратного комплекса для инжекционного синтеза композитного функционального слоя на

поверхности тонких ленточных электродов первичных и вторичных источников электроэнергии тонкая лента сматывается с подающего ролика, пропускается последовательно через входную и выходную пылезащищенные щели в корпусе инжекционной камеры и наматывается на принимающий ролик. В инжекционной камере лентопротяжное устройство прижимает ленту к приводному валу таким образом, что зону воздействия двухфазной струи фрагменты ленты пересекают, опираясь на поверхность этого валика. Пылевоздушная смесь с остаточным напыляемым материалом удаляется из инжекционной камеры с применением вытяжки.

Вследствие нестабильностей в пределах инжекционной камеры на тонкой электродной ленте наблюдались дефекты в виде надрывов по краям и порывов (как после, так и до зоны воздействия высокоскоростной струи с микрочастицами на ленту в области опирания на валик).

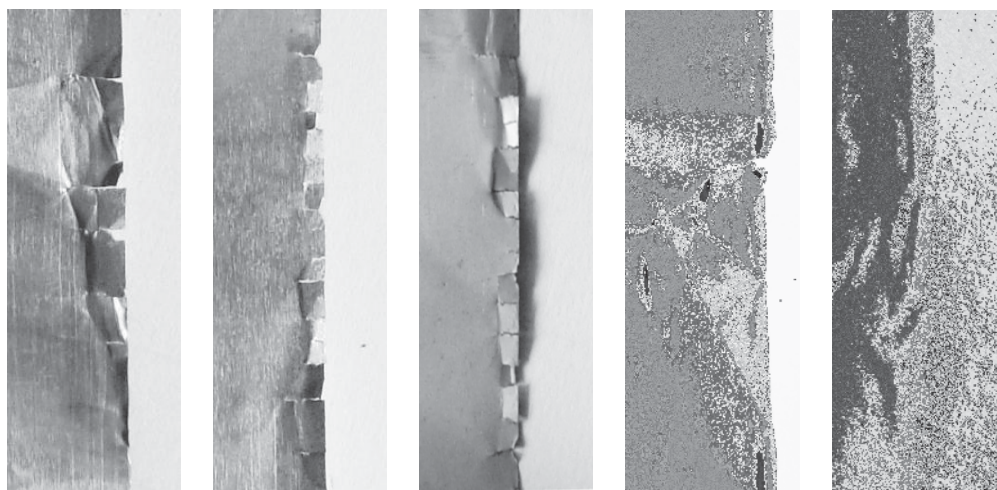


Рисунок 1 - Примеры дефектов тонкой электродной ленты вследствие ее галопирования при инжекционном синтезе

Анализ процессов, порождающих большинство дефектов упомянутых видов, приводит к выводу, что экспериментально наблюдающиеся хлопья ленты, волны, синхронные и несинхронные резонансные колебания фрагментов ленты, расположенных между опорным валиком и направляющими щелями в корпусе камеры, чувствительность энергии колебаний к степени натяжения ленты, которые приводят к формированию упомянутых выше дефектов, могут быть сведены, по аналогии с [7,8], к проявлениям пляски (галопирования) тонкой металлической ленты, перемещаемой в

инжекционной камере относительно действующей на нее двухфазной струи.

Известно [7], что большинство видов динамических колебаний могут быть сведены к самвозбуждающимся колебаниям, которые возникают в результате действия источников энергии, не имеющих колебательных свойств. Галопирование является одной из наиболее опасных разновидностей колебательных движений для колеблющихся объектов. Так, например, при галопировании высоковольтных проводов в прогонах между опорами могут происходить их деформации [7], особенно в зажимах креплений к изоляторам, а также повреждения в результате действия колебательных процессов.

Галопированию тонкой металлической ленты, как разновидности колебательного движения, присущи все основные закономерности, характерные для других волновых процессов, в том числе следующие: 1) отклонение в любой точке тонкой металлической ленты от нейтрального положения или ударное влияние на фрагменты ее поверхности приводит к распространению волн той же формы вдоль ленты в обоих направлениях от зоны влияния; 2) возникающие волны представляют собой спектр частот с гармониками; 3) при столкновении волны с препятствием (зажим, опора и т.д.) происходит отражение, пропускание или поглощение волны. Отраженная волна имеет ту же форму, но противоположное направление распространения. Пропускание сводится к переходу волны того же знака и формы через препятствие, вследствие чего волна, возникшая на ленте в одном промежутке между опорами, передается фрагментам ленты, которые находятся за этими опорами в смежных промежутках. Возможен случай, когда в смежном промежутке в результате волнового транспорта вдоль ленты дополнительной энергии происходит не поглощение, а усиление, например, вследствие совпадения направлений влияний.

Отметим, что реальная длина ленты всегда немного превышает длину промежутка между опорами; вес ленты преимущественно распределен равномерно по длине ленты (а не упомянутого промежутка); сила веса фрагментов ленты, как правило, не совпадает по направлению с перпендикулярами к их поверхностям, что и приводит к неравномерности силы веса вдоль ленты в пределах промежутка между опорами.

На основании вышеприведенного отметим особенности поведения тонкой металлической ленты под воздействиями на нее в пределах инжекционной камеры переменных порывов воздушного потока:

– колебания возникают не только в случае непосредственного воздействия воздушного потока на ленту в промежутках между опорным валиком и ближайшими к нему опорами, но и в случае воздействий на смежные с ними промежутки;

– под давлением воздушного потока на отдельные промежутки вместе с поперечным отклонением тонкой металлической ленты может происходить также и продольное отклонение линий опирания ленты на опоры относительно ее поверхности.

Рассмотрим последовательные этапы развития процесса возникновения колебаний тонкой подвижной металлической ленты в промежутке между опорным валиком и другими опорами: 1) этап, который предшествует началу исследуемого процесса: расположение тонкой подвижной металлической ленты принято в спокойном состоянии, когда на ленту действуют лишь силы веса ленты и продольные натяжения, обеспечивающие ее перемотку; 2) этап возмущения ленты в результате действия воздушного потока; 3) этап раскачивания ленты и ее влияния на опоры, в частности периодическое изменение расположения линий опирания вдоль ленты; 4) возникновение колебаний ленты вследствие периодических изменений расположения линий опирания относительно поверхности ленты и их резонансный захват.

Неравномерное (порывистое) давление воздушного потока в пределах инжекционной камеры воспроизводится через взаимодействие разогнанной воздушной инжектирующей струи со струей запыленного воздуха, которая формируется вытяжной системой. При этом действие порывистого давления воздуха на разные участки тонкой металлической ленты приводит до формирования продольных вдоль ленты усилий и смещений под действием этих усилий линий опирания ленты на опоры, а из-за того, что влияние воздушного потока имеет импульсный характер, такие усилия включают спектр гармоничных колебаний. Изменение расположения линий опирания ленты на опоры в продольном направлении эквивалентно изменению длины ленты в промежутке.

Эти отклонения не существенны для расчета механической прочности тонкой ленты при перемотке, но они имеют существенное влияние на процесс возникновения галопаирования.

В случае изменения расположения линий опирания ленты на опоры в продольном относительно нее направлении возникает дополнительная сила, определяемая разницей натяжений в прогонах слева и справа линий опирания. В точке наибольшего провисания в промежутке между опорами возникает ускорение ленты. Если это ускорение превысит ускорение силы веса, то приведет к вертикальному движению соответствующего фрагмента ленты. При подъеме ленты натяжение в ней будет уменьшаться до момента достижения лентой прямой, соединяющей линии крепления. По мере последующего движения ленты вверх в ней нарастает натяжение вплоть до уравнивания сил, включая силы инерции. Так начинается процесс галопирования ленты. Следует отметить, что усилие подъема возникает не только в точке максимального провисания, но и по всей длине ленты. Поэтому влияние на ленту будет значительнее.

На этой основе галопирование тонкой металлической ленты вблизи опорного валика в камере для синтеза металлокомпозитных ленточных электродов инъекционным методом можно определить (по аналогии с [8]) как явление аэродинамической неустойчивости и результат аэроупругого взаимодействия ленты с воздушным потоком при возмущении возбуждения колебаний в результате перемещения линий опирания ленты на опоры. Главной причиной возникновения галопирования является изменение эквивалентной длины ленты в промежутках между опорами вследствие колебаний линий опирания ленты на опоры. Сила действия, которая возникает при колебаниях линий опирания ленты на опоры, является возбудителем для возникновения галопирования в случае превышения вызванного этой силой вертикального ускорения относительно ускорения силы веса.

Вследствие того, что движение тонкой металлической ленты в инъекционной камере является необходимой технологической компонентой синтеза тонких ленточных электродов инъекционным методом, известные методы угнетения галопирования созданием препятствия продольным перемещениям точек крепления, разработанные для высоковольтных проводов в прогонах между

опорами [7,8], являются непригодными для тонкой металлической ленты, которая должна иметь возможность движения в этом направлении.

Учитывая вышеизложенное, наиболее действенным для обеспечения повышенной «живучести» тонкой подвижной металлической ленты путем устранения ее галопирования в инжекционной камере представляется использование (как минимум в пределах инжекционной камеры) лентопроводов достаточной жесткости, расположение которых обеспечило бы минимальные длины прогонов ленты вблизи опорного валика. Решение таким способом проблемы повышения «живучести» тонкой подвижной металлической ленты значительно смягчает требования к диапазону величин ее натяжений, что, в свою очередь, предоставляет степень свободы для оптимизации натяжений перемотки ленты.

Выводы

Причины дефектообразования в виде надрывов по краям и порывов, наблюдаемых на тонких ленточных электродах при их инжекционном синтезе, в основном могут быть сведены к проявлениям галопирования тонкой электродной ленты, перемещаемой в инжекционной камере относительно действующей на нее двухфазной струи.

Галопирование тонкой ленты вблизи опорного валика в камере для синтеза композитных ленточных электродов инжекционным методом можно определить как явление аэродинамической неустойчивости и результат аэроупругого взаимодействия ленты с запыленным газовым потоком при возмущении возбуждения колебаний в результате перемещений линий опирания ленты на опоры.

Для повышения «живучести» тонкой и подвижной относительно своих опор ленты путем подавления факторов, способствующих развитию ее галопирования, перспективно применение конструктивных мер защиты, например, лентопроводов достаточной жесткости в пределах инжекционной камеры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безимьянний Ю.Г. Акустичне відображення параметрів мезоструктури порошкових та композиційних матеріалів з дефектами і розробка методів прогнозування їх властивостей пружності: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.01 / Ю.Г. Безимьянний; Ін-т проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАНУ – Київ, 2007. – 47 с.
2. Денисенко А.И. Преимущества и ограничения инжекционного метода формирования металлокомпозитного катода / А.И. Денисенко // Теория и практика металлургии. – 2007. – № 4-5. – С. 94-97.
3. Денисенко А.И. Автоматическое управление программно-аппаратным комплексом для синтеза наноструктур / А.И. Денисенко, Е.П. Калинушкин // Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції з автоматичного управління (Автоматика-2006). – УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – С. 186-189.
4. Варгалюк В.Ф. Теоретический анализ сложных электрохимических систем, характеризующихся динамической неустойчивостью / В.Ф. Варгалюк, А.В. Болотин // Укр. хім. журн. – 2005. – Т. 71. №3. – С. 47 – 49.
5. Денисенко А.И. К формированию диссипативных структур энергетическим воздействием двухфазной струи на металлическую ленту / А.И. Денисенко // Materialy VI Mezinarodni vedecko-prakticka konference „Nastoleni moderni vedy – 2007” - Dil 5. Technicke vedy.: Praha. Publishing House „Education and Science”. s.r.o – s. 7-10.
6. Денисенко А.И. О механизме образования диссипативных структур на металлической ленте под воздействием двухфазной струи/ А.И. Денисенко, А.А. Балакин // Materialy IV Mezinarodni vedecko-prakticka konference „Vedecky prumysl evropskeho kontinentu – 2007” - Dil 14. Technicke vedy.: Praha. Publishing House „Education and Science”. s.r.o – s. 7-11.
7. Патент 77097 Укр., МКИ H02G 7/00. Спосіб запобігання та гасіння галопування проводів. /Левченко В.Г., Груба Г.І., Удод Т.Є., Крижов Г.П., Плакіда В.Т., Калашніков В.Д./ Заявл. 25.01.2005, опубл. бюл. №10, 16.10.2006.
8. Удод Т.Є. Конструктивний захист повітряних ліній електропередачі від галопування проводів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Т.Є. Удод; Донбаська національна академія будівництва і архітектури. – Макіївка, 2008. – 19 с.

Получено 03.04.2010г.