

Основной причиной применения штриповой резки стала возможность разрушения применяемого для лечения состава при высоких температурах, что сделало невозможным использование дисковых пил либо зубных фрез.

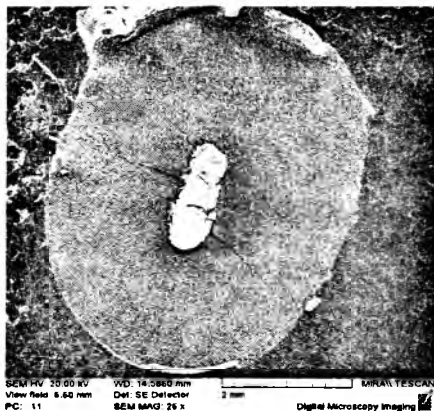


Рисунок 2 – Фотография полученной поверхности зуба

При применяемом же методе при достаточно высокой производительности выполнения операции, скорость резания является довольно низкой, вследствие чего нагрев зоны резания происходит крайне незначительный. Также среди достоинств уже упомянутая высокая

производительность и возможность простого и быстрого обновления поверхности путем ее повторной электроконтактной обработки с восстановлением режущей способности после затупления, что было особенно актуально, учитывая высокую твердость зубной эмали.

Фотография поверхности зуба после распила, сделанная с помощью электронного микроскопа, представлена на рисунке 2.

При ее анализе необходимо отметить высокое качество поверхности реза, возможность изучения внутренней структуры зуба без дополнительной обработки. Однако, точного позиционирование реза достигалось путем последующей дошлифовки.

1. Киселев М.Г., Дроздов А.В., Новиков А.А., Москаленко А.В., Богдан П.С. Методика и оборудование для оценки режущей способности проволочного инструмента. Метрология и приборостроение №1 2012.
2. Киселев М.Г., Дроздов А.В., Москаленко А.В., Мониц С.Г., Богдан П.С. Влияние способа выполнения электроконтактной обработки исходной поверхности проволочного инструмента на его режущую способность. Материалы, технологии, инструменты - ИММС НАН Беларуси №4(т17), Минск – 2012

УДК 530.182.539.3

ВЛИЯНИЕ РАЗЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ДИАГРАММЫ МАТЕРИАЛА НА ДЕФОРМАЦИИ СОЛИТОННОГО ТИПА

Князев М.А., Трофименко Е.Е.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Нелинейные модели явлений и процессов в самых различных областях исследования приобретают все более возрастающее значение. Среди них особо выделяются так называемые существенно нелинейные модели, допускающие состояния солитонного типа. Использование существенно нелинейных моделей позволяет описать принципиально новые закономерности изучаемых явлений или свойств материалов. Это относится и к различным материалам, используемым в строительстве, в том числе и к самому распространенному из них – бетону.

Вследствие сложного строения и состава бетона основным методом изучения его свойств и поведения под влиянием разных факторов является экспериментальное исследование. Развитие методов решения нелинейных задач, а также аналитических и вычислительных компьютерных методов позволяет эффективно применять менее затратный метод – метод математического моделирования. Применение этого метода пред-

полагает разработку и изучение определенной теоретической модели. Наиболее доступными методами математического моделирования являются численные методы, тем не менее, основными методами теоретических исследований по-прежнему являются аналитические методы. И хотя число задач, допускающих построение решения в явном виде, ограничено, аналитические методы обладают и значительными преимуществами, а именно, наглядностью, возможностью проследить поэтапно за ходом решения и проанализировать его на каждом этапе, а также связанной с этим возможностью общего анализа поставленной проблемы и полученных результатов.

В работе рассмотрено влияние на вид деформаций в одномерной сплошной среде в виде стержня, которое оказывает учет в представлении для диаграммы материала этой среды членов более высокого порядка по сравнению с линейным приближением. Исследовано развитие де-

формаций в стержне в рамках нелинейной упругопластической модели на стадии разупрочнения, когда при уменьшении напряжения происходит рост деформаций [1]. Разупрочнение представляет собой существенно нелинейный процесс, определяющим фактором в котором является поведение диаграммы материала.

Особенностью построения данной модели является реализуемая в ней процедура усреднения локальной деформации по некоторому объему структурной ячейки материала, при условии, что размеры такой ячейки малы по сравнению с характерным размером задачи. Указанная модель успешно применяется для описания композитных материалов.

Считая напряженно-деформированное состояние стержня однородным, уравнение движения для неоднородных возмущений этого состояния можно записать в виде [2]

$$\frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial t^2} = \frac{d\sigma}{dx} \cdot \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial x^2} - \delta^4 \frac{\partial^4 \varepsilon}{\partial x^4}. \quad (1)$$

Нелинейный характер соответствующего уравнения движения модели, обусловленный членом вида $\frac{d\sigma}{dx}$, предполагает наличие в ней решений солитонного типа.

Первоначально рассмотрена линеаризованная задача, для которой зависимость между напряжением и деформацией считалась линейной функцией. В этом случае уравнение движения (1) становится линейным и его решения имеют вид распространяющихся волн.

В квадратичном приближении для диаграммы материала

$$\sigma(\varepsilon) = -k\varepsilon + \frac{1}{2}f\varepsilon^2, \quad (2)$$

где k и f – некоторые коэффициенты аппроксимации, определяемые параметрами модели, для решения уравнения (1) использовался широко распространенный метод решения нелинейных уравнений в частных производных – метод Хироты [3]. Несмотря на то, что данное уравнение является нелинейным, оказалось, что оно не имеет локализованных решений типа одиночного солитона. Решение двухсолитонного типа удается построить только путем компенсации мнимых частей одно-солитонных составляющих. Однако такой подход приводит к тому, что фактически, это решение имеет вид бризера. Оно локализовано по пространственной переменной и осциллирует во времени. При построении такого двух-солитонного решения требуется вводить ограничения, которые носят скорее математический характер и мало связаны с изучаемой физической моделью.

Чтобы получить солитонные решения без дополнительных условий, требуется обобщить

рассматриваемую нелинейную модель. Это можно сделать путем восстановления энергетического баланса между влиянием дисперсии и нелинейности, содержащихся в уравнении. Одним из возможных путей решения такой проблемы является учет в системе диссипативных процессов. При этом вследствие свойств материалов, для описания которых используется рассматриваемая модель, наряду с учетом диссипации энергии со временем, необходимо учесть потери энергии и из-за структурной неоднородности материала. В результате уравнение движения для неоднородных возмущений напряженного состояния примет вид [4]

$$\frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial t^2} + \alpha \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial x \partial t} = \frac{d\sigma}{dx} \cdot \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial x^2} - \delta^4 \frac{\partial^4 \varepsilon}{\partial x^4}, \quad (3)$$

где α – коэффициент диссипации.

Данное уравнение при использовании квадратичного приближения (2) для диаграммы материала является интегрируемым и допускает возможность построения любого солитонного решения, включая решения, описывающие многосолитонные состояния.

Сравнение фазовой и групповой скоростей для решения уравнения (3) и его линеаризованной версии демонстрирует существенное влияние нелинейности на протекающие в системе процессы. Однако в обоих случаях возможно построение устойчивых состояний, в то время как для линеаризованной версии уравнения (1) возможны различные состояния как устойчивые, так и неустойчивые относительно малых возмущений.

Как отмечено в [2], при значительном увеличении деформации уже не достаточно ограничиваться квадратичным приближением (2) для диаграммы материала. Поскольку диссипативные процессы уже учтены в уравнении (3), представляет интерес рассмотреть, как изменятся солитонные решения, если для диаграммы материала использовать разложение, включающее член третьего порядка

$$\sigma(\varepsilon) = -k\varepsilon + \frac{1}{2}f\varepsilon^2 - \frac{1}{3}g\varepsilon^3, \quad (4)$$

где g – ещё один коэффициент аппроксимации, выбор знака перед кубическим членом не носит принципиального характера.

Для решения уравнения (3) при условии (4) также использовался метод Хироты. Особенностью данного метода является преобразование изучаемого нелинейного уравнения в бесконечную систему линейных неоднородных уравнений. Последовательно решая указанную систему уравнений, можно в принципе построить произвольное солитонное решение нелинейного уравнения (при условии, что такие решения

существуют). Для того, чтобы построить односолитонное решение потребуется, например, использовать первые два уравнения бесконечной системы. Для двухсолитонного решения нужны явно второе и третье уравнения (первое используется неявно) и т.д.

Сравнение первых двух уравнений бесконечной системы линейных уравнений, которая получается для нелинейного уравнения (3) при условии (2), с первыми двумя уравнениями бесконечной системы линейных уравнений, которая получается для нелинейного уравнения (3) при условии (4), показывает их полную тождественность. Таким образом, можно сделать вывод о том, что учет членов более высокого порядка в разложении для диаграммы материала не влияет на вид решения, описывающего односолитонное состояние.

В случае двухсолитонного решения для его определения нужны, главным образом, второе и третье уравнения получающихся бесконечных систем. Если относительно вторых уравнений известно, что они одинаковы, то третье линейное уравнение бесконечной системы, которое получается для нелинейного уравнения (3) при условии (4), будет содержать дополнительное слагаемое вида

$$\frac{1}{3} g \sigma^2 \left(\frac{\partial^2 f_1}{\partial x^2} \right)^3,$$

УДК 666.797.2

ТВЕРДОФАЗНОЕ РЕАКЦИОННОЕ СПЕКАНИЕ В ПОКРЫТИИ ИЗ СМЕСИ Si-C

Ковалевская А.В., Проворова И.Б., Жук В.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Вакуумные технологии распыления и осаждения высокотемпературных и карбидообразующих материалов с помощью планарной магнетронной распылительной системы (МРС) позволяют получать металлические (W, Mo) и керамические (SiC, MoSi₂) наноструктурные покрытия с уникальным комплексом свойств и структурой [1–3]. Эффективность нанесения нанопокровов в МРС определяется правильностью выбора рабочих параметров, их стабильностью, позволяющей осаждать пленки с постоянной скоростью и воспроизводимыми свойствами [2,3]. Модернизированная МРС, в которой постоянные магниты заменены электромагнитной системой, обеспечивает снижение напряжения зажигания, и изменение схемы автоматической стабилизации процесса. Отключение катушки индуктивности превращает магнетрон в источник тлеющего разряда, который используется для очистки поверхности подложек (частиц) для повышения адгезионной прочности покры-

тия с подложкой. Плазма локализованного магнетронного разряда является источником тепловой энергии и может быть применена при термической обработке подложек и покрытий. Многофакторность процесса распыления в скрещенных магнитном и электрическом полях позволяет определить энергетические параметры распыления в зависимости от вольт – амперной характеристики процесса, давления рабочего газа, формы распыляемого катода-мишени и индукции магнитного поля. Скорость распыления зависит от теплопроводности (теплопроводность Si – 34, Mo – 138; C – 15,5 Вт /м К), энергии связи в материале катода и условий его охлаждения. В процессе распыления катод нагревается до температуры 600°C, что требует его охлаждения. В работе рассматривается вариант решения проблемы путем нанесения на поверхность частиц конденсата, состоящего из смеси кремния или углерода, формование полученных порошков – композитов с активированием со-

1. Кукуджанов, В.Н. Микромеханическая модель разрушения неупругого материала и её применение к исследованию локализации деформаций / В.Н. Кукуджанов // Механика твердого тела. – 1999. – № 5. – С. 72-87.
2. Мягков, Н.Н. О динамической локализации деформации в разупрочняющемся стержне / Н.Н. Мягков // Механика композиционных материалов и конструкций. – 1999. – Т. 5, № 3. С 28-32.
3. Князев, М.А. Кинки в скалярной модели с затуханием / М.А. Князев. – Минск: Техналогия, 2003. – 115 с.
4. Князев, М.А. Солитоны в нелинейной упруго-пластической модели / М.А. Князев. – Минск: БНТУ, 2013. – 221 с.