

Отметим основные преимущества "ИСПА" по сравнению с зарубежными системами:

- русскоязычность пакета, что позволяет полностью освоить его в очень сжатые сроки;
- макроэлементный подход к созданию моделей. То есть процесс создания модели разбит не на два, а на три этапа: создание геометрической модели (в случае необходимости); создание макроэлементной модели (причем один макроэлемент может содержать десятки и сотни сгенерированных позднее на его основе конечных элементов); автоматическое создание конечно-элементной модели. Макроэлементный подход за счет своей "прозрачности" позволяет создавать очень сложные КЭМ и без затруднений их редактировать;
- значительное сокращение времени расчета за счет оптимизации ширины ленты матрицы жесткости, представляющей собой внутреннюю перенумерацию узлов КЭМ;
- для одного и того же расчета ИСПА требует значительно меньшего объема дискового пространства по сравнению с зарубежными системами;
- и препроцессор, предназначенный для создания модели, и постпроцессор, в котором представляются результаты расчета, имеют разный интерфейс, что значительно облегчает процесс создания моделей и обработку результатов расчета.

Создание сложных пространственных конечно-элементных моделей связано с большими затратами времени. В последнее время за рубежом широко используются конечно-элементные пакеты, позволяющие сгенерировать конечно-элементную сетку на геометрической модели, импортированной из САД-системы (например, Pro/ENGINEER). То есть из создания модели исключается самая трудоемкая операция – описание ее геометрии. С конца 1999 года в ГСКБ ПО «Гомсельмаш» начал осваиваться пакет MARC, позволяющий использовать геометрию модели, разработанную в Pro/ENGINEER.

В настоящее время практически все вновь разрабатываемые в ГСКБ конструкции рассчитываются с использованием МКЭ. Например, для несущих конструкций зерноуборочных комбайнов КЗР–10, КЗС–10, КЗС–7 созданы КЭ-модели, имеющие достаточно сложную пространственную топологию, причем исключение из модели каких-либо ее элементов с целью уменьшения времени расчета невозможно в связи с возникновением больших погрешностей в расчете, не учитывающем взаимное влияние элементов конструкции. Такие модели состоят из 25000–30000 элементов, 20000–25000 узлов, имеющих 90000–130000 степеней свободы. Для расчета такой модели пакетом ИСПА необходимо до 2 Гб свободного дискового пространства, время расчета на ПЭВМ класса PENTIUM II составляет 2–4 часа. В сравнении с пакетом ИСПА применение интегрированных в САЕ-системы КЭ-средств требует в несколько раз больше времени, объемов оперативной памяти и дискового пространства. Основываясь на изложенном, специалисты ГСКБ в современных условиях считают целесообразным продолжать направление на использование специализированных КЭ-пакетов, получая трехмерные модели непосредственно от конструкторов из САЕ-систем.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ВОЛОЧЕНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ

А. Т. Бельский

*Гомельский государственный технический университет
им. П. О. Сухого, Республика Беларусь*

При формировании защитного слоя на длинномерное изделие было замечено, что изменение скорости волочения приводит к изменению толщины формируемого слоя. Это явление наблюдалось при применении волочильного инструмента с различными

геометрическими параметрами рабочей зоны, при нанесении покрытий с различными обжатиями, а также при исследовании влияния геометрических размеров напорной трубки на толщину формируемого слоя.

Как известно, производительность процесса формирования защитного покрытия на длинномерное изделие, в первую очередь, зависит от скорости ее протягивания, а свойства и срок эксплуатации металлических покрытий определяется его толщиной. В связи с этим и производили исследование по определению зависимости толщины защитного порошкового покрытия на длинномерном изделии от скорости волочения.

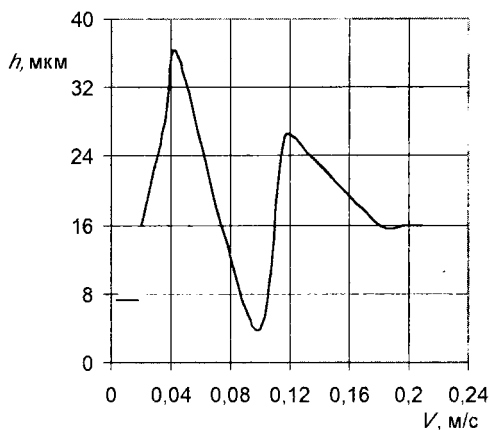


Рис. 1

При нанесении оловянного покрытия из порошка олова марки ПО2 на медную проволоку марки М1, химический состав которой регламентирует ГОСТ 859–78, с исходным диаметром 3,27 мм, диаметр калибрующей зоны волочильного инструмента составлял 3,0 мм. Скорость волочения в процессе эксперимента изменялась от 0,023 до 0,209 м/с. В результате обработки экспериментальных данных была получена зависимость, которая представлена на рис. 1.

Видно, что с изменением скорости волочения происходит изменение толщины формируемого покрытия. При протягивании проволоки со скоростью до 0,048 м/с толщина формируемого слоя увеличивается и достигает своего максимального значения. На интервале изменения скорости волочения от 0,048 м/с до 0,1 м/с происходит уменьшения толщины покрытия. При дальнейшем увеличении скорости до 0,12 м/с толщина формируемого покрытия вновь возрастает. Затем процесс стабилизируется. Происходит уменьшение толщины наносимого порошкового покрытия и, начиная со скорости 0,179 м/с, изменение толщины покрытия практически отсутствует.

Сложный характер зависимости изменения толщины порошкового покрытия от скорости протягивания длинномерного изделия можно объяснить, если рассмотреть перемещение частиц порошка в напорной трубке.

Перемещение частиц в напорной трубке в зависимости от скорости протягивания длинномерного изделия может происходить по трем следующим схемам (рис. 2).

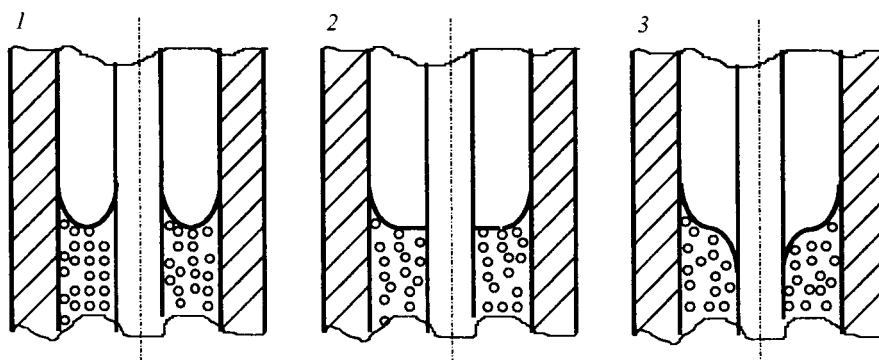


Рис. 2

Схема 1 соответствует тому случаю, когда скорость волочения проволоки меньше скорости свободного истечения порошка металла под действием силы тяжести и вибрации, приложенной к напорной трубке. За счет сил трения, возникающими между мате-

риалом порошка и материалами стенки напорной трубки и движущейся проволоки, происходит неравномерное перемещение отдельных слоев порошкового материала. При этом плотность порошкового материала также неравномерна по сечению. Чем больше разница между скоростями волочения длинномерного изделия и свободного истечения порошка металла, тем больший объем порошка у входа в рабочий конус волокни будет иметь плотность, меньшую плотности утряски.

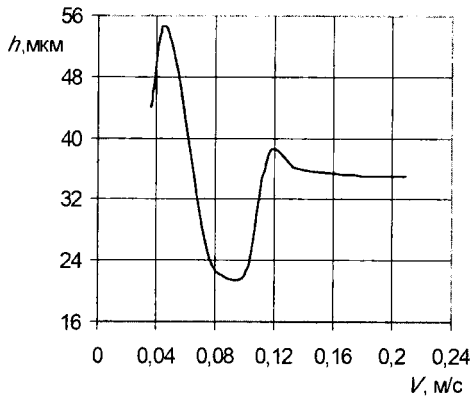


Рис. 3

формируемого защитного слоя на протягиваемой проволоке, так как ухудшается поступление порошка в рабочий конус волокни, где происходит формирование покрытия. При равенстве скоростей протягивания длинномерного изделия и скорости истечения порошка металла, в напорной трубке происходит его спрессование, а толщина покрытия формируемого слоя становится минимальной.

Характерной особенностью схемы 3 является превышение скорости протягивания длинномерного изделия над скоростью истечения металлического порошка. Переход от второй схемы к третьей происходит при незначительном изменении скорости волочения, поэтому наблюдается резкое увеличение толщины наносимого порошкового покрытия. Перемещение частиц порошка по третьей схеме благоприятствует обеспечению состояния его утряски у входа в рабочий конус волокни. Процесс при этом стабилизируется и наблюдается лишь незначительное уменьшение толщины получаемого защитного слоя.

При формировании защитного оловянного порошкового покрытия на медную проволоку в вакууме, зависимость толщины покрытия от скорости волочения имела аналогичный характер (рис.3). Разряжение в вакуумной камере соответствовало 1,3 Па.

Нанесение оловянного покрытия осуществляли на медную проволоку с исходным диаметром 4,1 мм при волочении через волоку, диаметр калибрующей зоны которой был

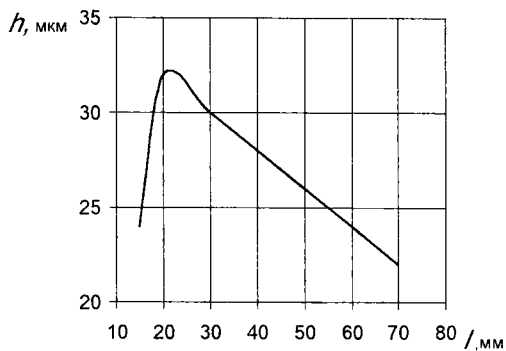


Рис. 4

равен 3,70 мм. Из сравнения результатов экспериментов формирования покрытий в обычных условиях и в вакууме следует, что интенсивность убывания толщины покрытия при скоростях, превышающих скорость истечения порошка, у покрытий, полученных в вакууме, несколько меньше, чем в обычных условиях. Это объясняется тем, что при нанесении защитного слоя в процессе волочения в обычных условиях при повышенных скоростях на толщину покрытия начинает оказывать противопоток воздуха, который вытесняет порошковый материал из зоны уплотнения.

Изменяя длину напорной трубки при различных скоростях волочения длинномерного изделия, была получена зависимость изменения толщины h формируемого слоя от длины l напорной трубки, вид которой приведен на рис. 4.

В результате проведенных экспериментов было установлено, что процесс формирования защитного покрытия необходимо производить при скорости волочения, превышающей скорость свободного истечения порошкового материала, и длине напорной трубки, равной 20...22 мм.

ЗАТУХАЮЩИЙ АПЕРИОДИЧЕСКИЙ ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ НА ФАЗОВОЙ ГРАНИЦЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

О. Н. Шабловский, Д. Г. Кроль

Гомельский государственный технический университет
им. П. О. Сухого, Республика Беларусь

Некоторые современные способы получения твердых материалов характеризуются большими скоростями кристаллизации. Проблема разработки и анализа математических моделей локально-неравновесного затвердевания находится в начальной стадии развития. Состояние этого вопроса и библиография имеются в [1]. В данной работе изучаются некоторые эволюционные свойства фазовой границы (ФГ) в релаксационной тепловой задаче о высокоскоростной кристаллизации материала с нелинейными теплофизическими свойствами.

Изучаемая математическая модель состоит из уравнения энергии и уравнения для теплового потока эволюционного (релаксационного) типа:

$$\tilde{c}c \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0, \quad q + \gamma \frac{\partial q}{\partial t} = -\tilde{\lambda} \lambda \frac{\partial T}{\partial x}, \quad (1)$$

где T – температура; q – удельный тепловой поток; λ – коэффициент теплопроводности; $c = \rho c_p$ – удельная объемная теплоемкость; γ – время релаксации теплового потока; t – время; x – декартова координата. Безразмерные параметры $\tilde{\lambda} = (\lambda_b T_b) / (x_b q_b)$, $\tilde{c} = (c_b T_b x_b) / (t_b q_b)$ составлены из масштабов (они отмечены нижним индексом b) величин, применяемых для обезразмеривания уравнений (1). В последующих аналитических выкладках и численных расчетах все величины – безразмерные.

Условия динамической совместности и условия устойчивости на ФГ $x = x_j(t)$ имеют вид [2]:

$$q_j - q_* = \tilde{c}N(u_j - u_*) - L(N + \gamma dN/dt), \quad (q_j - q_*)N = \tilde{\lambda}(V_j - V_*), \quad N = dx_j/dt, \quad (2)$$

$$w_*^2 < N^2 \tilde{N}^2 < (V_* - V_j) / (u_* - u_j) < w_j^2, \quad (3)$$

где $dV/dT = \lambda/\gamma$; $du/dT = c$; $L = L_b x_b / (t_b q_b)$; $\tilde{N}^2 = \tilde{c}/\tilde{\lambda}$; L_b – теплота фазового перехода единицы объема вещества; $w^2 = \lambda/(c\gamma)$ – квадрат скорости распространения тепловых возмущений; индексами $*, j$ отмечены значения функций, соответственно, справа (жидкая фаза) и слева (твердая фаза) от ФГ. Неравенства (3) характеризуют устойчивость разрыва при знакопостоянной выпуклости функции $V = V(T)$. Ситуация со знакопеременной выпуклостью обсуждается в [2, 3]. Действуя аналогично [4],