

КИНЕМАТИКА УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПЛЮЩЕНИЯ ПРОВОЛОК

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Мельник Е. А., Папко И. В.

Вышинский Н. В. – к.т.н., профессор

Для изготовления катодных систем мощных генераторных приборов применяют ленту, получаемую методом горячего ультразвукового плющения в вакууме проволок из тугоплавких металлов и сплавов [1]. При ультразвуковом плющении реализуется режим ударного взаимодействия с периодическими нарушениями контакта между обрабатываемой проволокой и инструментами. Взаимодействие инструментов с обрабатываемой проволокой, включая их подведение к проволоке и сам процесс плющения можно разделить на два режима: 1-й режим (установочный) - взаимодействие упруго деформируемого инструмента с упруго деформируемой проволокой; 2-й режим (рабочий) - взаимодействие упруго деформируемого инструмента с пластически деформируемой проволокой [2]. Рассмотрим кинематику взаимодействия инструмента и обрабатываемой проволоки при реализации указанных режимов.

1. Режим упругого деформирования проволоки

Рассмотрим смещение контактной поверхности инструмента 1 относительно неподвижной системы координат ZOY, начало которой совмещено с центром поперечного сечения деформируемой проволоки 2 (рис.1). Для выбранной системы координат уравнение, описывающее смещение поверхности инструмента для случая начала его контактирования с проволокой (рис.1, а), будет иметь вид

$$z = R + A(1 + \sin \omega t), \quad (1)$$

где R-радиус поперечного сечения проволоки; A, ω - амплитуда и циклическая частота ультразвуковых колебаний инструмента. При дальнейшем перемещении инструмента в направлении начала координат наступит режим упругого деформирования проволоки. В последующем будем считать, что величина упругой деформации инструмента при его контактировании с нагретой проволокой намного меньше величины упругой деформации последней и может не учитываться. Допустим, что проволока упруго деформируется в направлении оси OZ на величину u_0 . Тогда уравнение смещения контактной (калибрующей) поверхности инструмента примет вид

$$z = R - u_0 + A(1 + \sin \omega t) = z_0 + A \sin \omega t, \quad (2)$$

где $z_0 = A + R - u_0$ - координата, определяющая положение контактной поверхности инструмента при отсутствии колебаний.

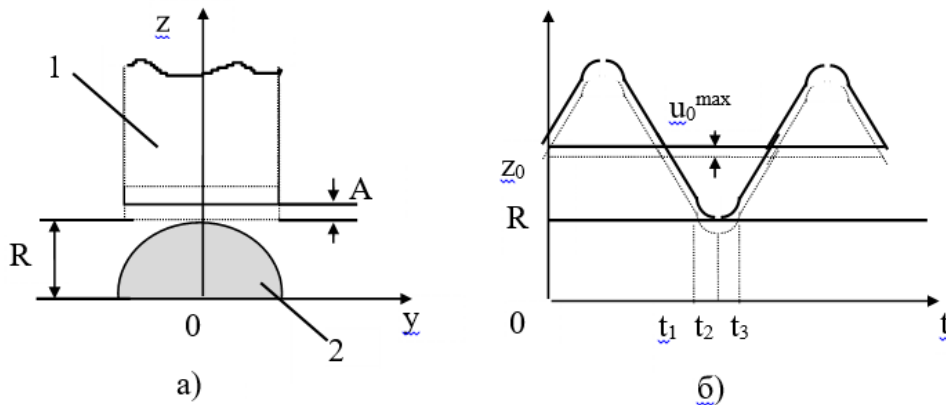


Рис. 1

На рис.1, б представлен график изменения во времени смещения контактной поверхности инструмента. Время t_1 начала и время t_3 окончания контакта инструмента с упруго деформируемой проволокой зависит от величины упругой деформации u_0 . Учитывая, что для начала и окончания контакта величина смещения поверхности инструмента равна радиусу R поперечного сечения проволоки, т.е. $z = R$, имеем

$$A \sin \omega t_1 = u_0 - A, \quad (3)$$

откуда

$$t_1 = \arcsin(u_0 / A - 1) / \omega. \quad (4)$$

Учитывая, что $\sin \omega t_1 = \sin \omega t_3$, получим

$$t_3 = 3\pi / \omega - t_1 = 3\pi / \omega - \arcsin(u_0 / A - 1) / \omega. \quad (5)$$

Тогда продолжительность τ контактирования инструмента с упруго деформируемой проволокой будет равна

$$\tau = t_3 - t_1 = 3\pi/\omega - 2\arcsin(u_0/A - 1)/\omega. \quad (6)$$

Время t_2 , соответствующее максимальной упругой деформации проволоки u_0^{\max} , будет равно $t_2 = 3\pi/(2\omega)$. Уравнение, описывающее изменение во времени величины упругой деформации проволоки в направлении оси OZ, будет иметь вид

$$u_0 = A(\sin \omega t_1 - \sin \omega t), \quad t_1 \leq t \leq t_3, \quad u_0 = 0, \quad 0 \leq t \leq t_1; \quad t_3 \leq t \leq T, \quad (7)$$

где $T = 2\pi/\omega$ период колебаний инструмента.

2. Режим пластического деформирования проволоки

На втором этапе взаимодействия происходит пластическая деформация проволоки. Причем плющение проволоки осуществляется, в основном, боковой поверхностью инструмента (поверхность B на рис.2) и лишь небольшой объем проволоки, имеющий в поперечном сечении форму треугольника (рис.2), пластически формируется начальным участком контактной (калибрующей) поверхности A инструмента.

Рассмотрим кинематику взаимодействия инструмента с пластически деформируемой проволокой. Будем считать, что при единичном акте деформирования участок проволоки, находящийся слева от оси OZ (рис.2), остается неподвижным, а движение находящейся справа от оси OZ ленты происходит только за счет ее упругой деформации под действием усилия протяжки. Движение проволоки со скоростью протяжки V начнется с момента разрыва контакта между проволокой и инструментом и будет продолжаться до момента начала повторного контактирования.

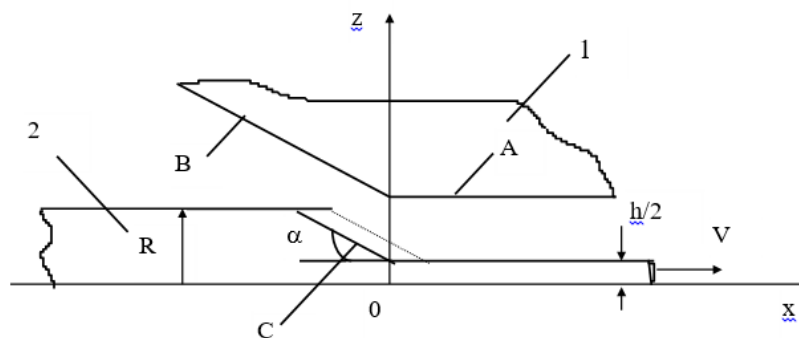


Рис. 2

Примем момент разрыва контакта t_1 за начало отсчета времени, т.е. $t_1 = 0$. Тогда уравнение, описывающее смещение поверхности A инструмента, будет иметь вид

$$z_A = h/2 + A(1 - \cos \omega t), \quad (8)$$

где h - толщина ленты.

Изменение во времени координаты точки пересечения оси OZ с наклонной поверхностью C проволоки, движущейся со скоростью V , определяется выражением

$$z_C = h/2 + tV \operatorname{tg} \alpha, \quad (9)$$

где α - угол наклона боковой поверхности B инструмента по отношению к контактной поверхности A (угол захода).

Момент t_2 начала контактирования инструмента с проволокой определим из условия равенства координат $z_A = z_C$. Приравняв правые части выражений (8) и (9), получим следующее трансцендентное уравнение

$$A(1 - \cos \omega t_2) = t_2 V \operatorname{tg} \alpha. \quad (10)$$

Из уравнения (10) видно, что момент начала контактирования не зависит от диаметра обрабатываемой проволоки, но зависит от частоты и амплитуды ультразвуковых колебаний инструмента, угла захода и от скорости протяжки ленты. Пластическая деформация, осуществляемая калибрующей поверхностью инструмента, является причиной образования периодического рельефа поверхности ленты с шагом $\lambda = Vt_2$, что является отличительной особенностью метода ультразвукового плющения.

Список использованных источников:

1. Боженов В.В., Вышинский Н.В., Кундас С.П., Тявловский М.Д. Высокопроизводительный процесс получения лент из тугоплавких металлов и сплавов. -Электронная промышленность, 1983, вып.6(123), с.49-50.
2. Вышинский Н.В. Исследование высокотемпературных процессов при ультразвуковой обработке тугоплавких металлов в вакууме. -Известия Белорусской инженерной академии, 1996, вып.1, с.45-47.