

УДК 677.71.027

НАТЯЖЕНИЕ ПРОВОЛОКИ В ПРОЦЕССЕ

УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ИЗГИБА В ПРЕФОРМАТОРЕ

Хромов И.В.

Получена общая интегральная формула для определения натяжения проволоки в процессе преформации. В случае идеализированной диаграммы изгиба стержня для продольной оси получено достаточно простое алгебраическое соотношение.

Технологическая операция предварительной деформации и устройство для ее реализации (преформаторы) широко используются в производстве стальных канатов [1]. При проектировании таких устройств необходимо решать различные задачи, связанные с анализом упругопластического изгиба проволоки при сложном нагружении [2-4].

Одной из таких задач является расчет продольного усилия, необходимого для протягивания проволоки через зону предварительной деформации. Данная задача представляет интерес при проектировании техпроцесса свивки канатов, однако в литературе до настоящего времени не рассматривалась.

Введем ряд гипотез, которые обычно используют в аналогичных расчетах [2-4]: в зоне преформации спиралевидную ось проволоки можно заменить плоской кривой; перемещения поперечных сечений проволоки достаточно малы по сравнению с шагом свивки; концевые поперечные сечения проволоки в зоне преформации опираются на шарнирные опоры; потерями на трение пренебрегаем (опоры в виде роликов на подшипниках качения; в установившемся технологическом процессе проволока движется вдоль преформатора с постоянной по модулю скоростью v). С учетом указанных гипотез получим расчетную схему, приведенную на рисунке 1, а.

Прямолинейный стержень (проволока) на двух опорах, нагруженный посередине поперечной силой Q , испытывает упругопластическую деформацию изгиба. К правому концевому сечению приложена продольная сила N , под действием которой стержень движется через зону преформации. Усилие N создается вытяжным устройством канатовьющей машины.

Так как кинетическая энергия исследуемой механической системы постоянна, то должно выполняться следующее равенство:

$$P^e + P^i = 0, \quad (1)$$

где P^e , P^i – мощность внутренних и внешних сил, соответственно. Мощность внешней силы натяжения N вычисляется по формуле

$$P^e = N \cdot v. \quad (2)$$

Для расчета мощности внутренних сил выделим в стержне бесконечно малый участок длиной dl , движущийся со скоростью v (рисунок 1,б). Выберем малый промежуток времени dt из условия:

$$dt = \frac{dl}{v}. \quad (3)$$

За время dt указанный элемент из состояния I с кривизной k перемещается на величину dl и переходит в состояние II с кривизной $k + dk$. При этом правое поперечное сечение элемента dl поворачивается относительно левого на угол $\Delta\varphi$. На основании формулы для кривизны продольной оси стержня $k = d\varphi/dl$, получено равенство для расчета $\Delta\varphi$:

$$\Delta\varphi = (d\varphi_{II} - d\varphi_I) = (k + dk)dl - k \cdot dl = dk \cdot dl, \quad (4)$$

где $d\varphi_I$, $d\varphi_{II}$ – относительный угол поворота концевых сечений отрезка стержня dl в состояниях I и II, соответственно.

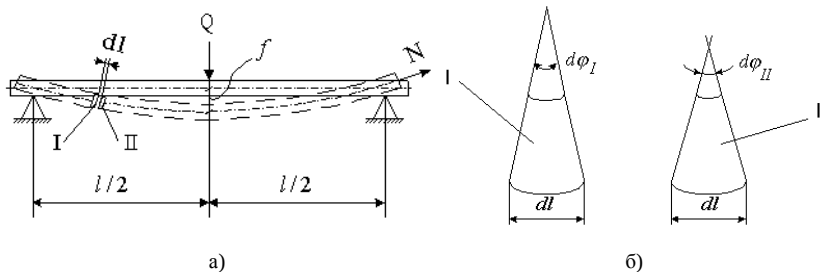


Рисунок 1 – Расчетная схема процесса преформации

Мощность dP^i внутреннего изгибающего момента M , затрачиваемая на деформацию бесконечно малого участка dl по определению равна:

$$dP^i = -M \cdot \omega = -M \frac{\Delta\varphi}{dt}.$$

$$\text{С учетом (3) и (4) получим: } dP^i = \frac{-Mdk \cdot dl}{dt} = -M \cdot v \cdot dk.$$

Кривизна стержня k при движении элемента dl через преформатор изменяется от 0 до некоторого значения k . Интегрируя последнее равенство по k , вычислим полную мощность внутренних сил:

$$P^i = -\int_0^k M v dk = -v \int_0^k M dk. \quad (5)$$

Подставляя (2) и (5) в (1), получим общую формулу для определения силы технологического натяжения отдельного элемента каната:

$$N = \int_0^k M dk. \quad (6)$$

Зависимость внутреннего изгибающего момента от кривизны продольной оси стержня $M = f(k)$ в общем случае описывается нелинейной диаграммой (рисунок 2,а). При этом для расчета N по формуле (5) можно использовать аналитический или численный методы интегрирования.

Пример. Следуя интегральному методу, т.е. пренебрегая физической и геометрической нелинейностью [4], заменим действительную диаграмму идеализированной, состоящей из двух прямолинейных участков (рисунок

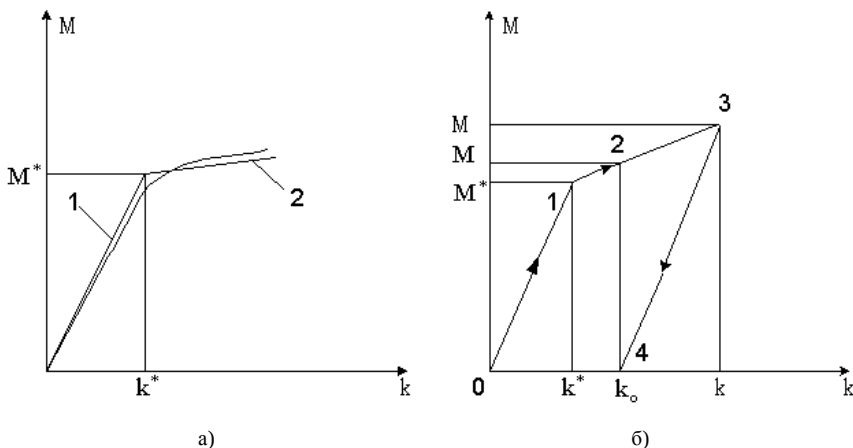


Рисунок 2 – Диаграммы изгиба стержня

2,а). Для участка упругих деформаций 1 выполняется закон Гука:

$$M = E \cdot I \cdot K, \quad (7)$$

где E - модуль упругости первого рода; I - осевой момент инерции поперечного сечения стержня.

На участке пластических деформаций 2 используем известное соотношение для стержня с линейным упрочнением [4]:

$$M = EI(k^* + \lambda(k - k^*)), \quad (8)$$

где $k^* = \frac{M^*}{EI}$ - условная предельная кривизна (рисунок 2,а,б); M^* - предельный момент; λ - коэффициент упрочнения материала.

Используя линейную диаграмму, рассмотрим процесс свивки каната с предварительной деформацией проволок (диаграмма на рисунке 2,б). Линия 1 – 3 описывает пластический изгиб проволоки слева от поперечной силы Q на рисунке 1,а, а линия 3-4 описывает процесс упругой разгрузки справа от силы Q . На выходе из преформатора проволока приобретает некоторую заданную остаточную кривизну k_o . Для расчета N в данном случае общий интеграл (6) удобно представить в виде суммы

$$N = \int_0^{k^*} Mdk + \int_{k^*}^k Mdk + \int_k^{k_o} Mdk. \quad (9)$$

После подстановки выражений (7), (8) в (9), получена следующая формула:

$$N = k^{*2} EI(e-1) \left(1 - \lambda \left(1 + \frac{\lambda}{2}(e-1)\right)\right), \quad (10)$$

где $e = \frac{k}{k^*}$ - приведенная величина максимальной кривизны проволоки в преформаторе.

Таким образом, в рамках принятых гипотез получена общая интегральная формула (6), позволяющая выполнять численный либо аналитический анализ технологического усилия натяжения проволоки при проектировании процесса преформации стальных канатов. В частном случае, если поведение стержня описывается линейной диаграммой $M=M(k)$, то в инженерных расчетах рекомендуется использовать более простое алгебраическое соотношение (10).

Библиографический список

1. Букштейн М.А. Производство и использование стальных канатов / М.А. Букштейн. — М.: Металлургия, 1973. — 360 с.
2. Ветров А.П. Изготовление канатов с преформацией пряжей/ А.П. Ветров, Н.К. Гончаренко Информ. ин-та «Черметинформация». — 1973. — Сер. 9. — №3 — 22 с.
3. Козлов В.Т. Методика определения оптимальных параметров предварительной деформации проволок при их свивке в спиральный канат / В.Т. Козлов, С.И. Козовый // Стальные канаты: Сб. — К., 1971. — №8. — С. 59 – 63
4. Хромов В.Г. Механика процесса холодной упругопластической деформации стержня / В.Г. Хромов. — К.: УМК ВО, 1990. — 48 с.

Поступила в редакцию 16.04.01 г