

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МОНОНИТИ С ПЕТЛЕОБРАЗУЮЩИМИ ОРГАНАМИ ТРИКОТАЖНЫХ МАШИН

О.Ф. БЕЛЯЕВ, В.А. ЗАВАРУЕВ, Л.А. КУДРЯВИН

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)

Для получения металлических сетеполотен, используемых в качестве отражающей поверхности антенн космических и наземных систем связи, обычно используется проволока малых диаметров (микропроволока, монопить) из стали, вольфрама, молибдена и т.д.

Во время процесса петлеобразования на трикотажных машинах монопить движется по игольно-платинным изделиям. При этом существенное влияние на сопротивление движению монопить по иглам, платинам и ушковинам могут оказывать свойства изгибаемой нити, угол между ведущей и ведомой ветвями нити и коэффициент трения между нитью и огибаемой ею поверхностью. Эти факторы должны сказываться на ходе зависимости натяжения T_2 ведущей ветви нити от натяжения T_1 ведомой.

Для обычных текстильных нитей зависимости T_2 от T_1 довольно подробно исследованы. Для металлических нитей, использованных нами, такие исследования не проводились, хотя результаты этих исследований представляют практический интерес.

Для проведения упомянутых исследований нами была разработана специальная приставка к универсальной разрывной машине марки Инстрон-1122 (рис. 1).

Схема установки следующая. Стальная трикотажная игла 1 неподвижно закреплена в нижнем зажиме 2 названной разрывной машины (в экспериментах, описанных в данной статье, диаметр иглы составлял 0,5 мм), а исследуемая нить 3 закреплена в тензодатчике 4, который может передвигаться вверх и вниз. При движении вверх тензодатчик показывает силу натяжения ведущей ветви нити, а при движении вниз

– ведомой. Вес P груза 8 при движении тензодатчика вверх определяет силу натяжения ведомого участка нити, а при движении вниз – ведущего.

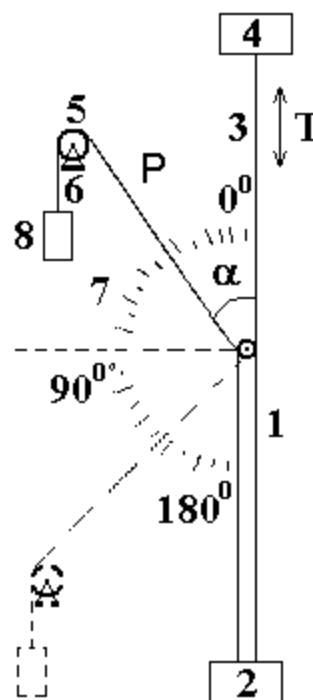


Рис. 1

Натяжение ведущей ветви нити в дальнейшем будем обозначать T_2 , ведомой – T_1 . Таким образом, при движении тензодатчика вверх он показывает значение силы T_2 , а вес груза P – значение силы T_1 . При движении тензодатчика вниз – наоборот.

Движение тензодатчика (подвижного зажима) 4 вверх условно назвали нагрузкой, вниз – разгрузкой. Цикл нагрузка – разгрузка для каждой нити повторялся несколько раз, показания тензодатчика подавались на самописец.

Угол α между ветвями мононити могли менять в пределах от 30° до 150° . С этой целью блок 5 закрепляли на держателе 6, который можно было перемещать вверх-вниз. Угол α выставляли по транспортиру 7. Диаметр блока 5 составлял 15 мм. Скорость движения тензодатчика меняли в пределах от 100 до 1000 мм/мин.

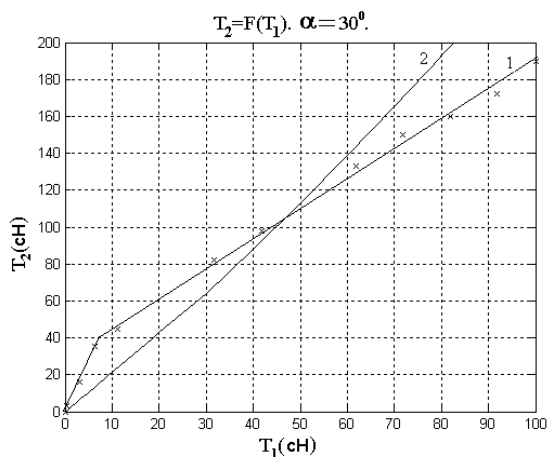


Рис. 2

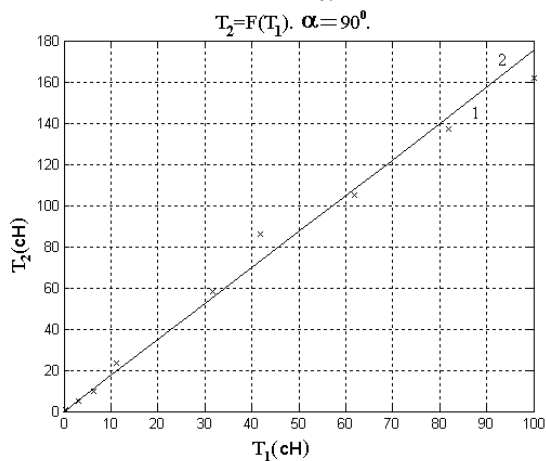


Рис. 4

На рис.2...4 в качестве примера представлены зависимости T_2 от T_1 при первичной нагрузке для микроволоок ЭИ708А диаметром 50 мкм при углах $\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ (кривые 1).

Аналогичные графические зависимости имеют место при других диаметрах микроволоок.

В результате анализа результатов проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Сила T_2 растет с увеличением силы T_1 , причем, как правило, сила T_2 значи-

тельно больше силы T_1 , но эта разница уменьшается с уменьшением диаметра микроволоки и увеличением угла α между ведущей и ведомой ветвями мононити.

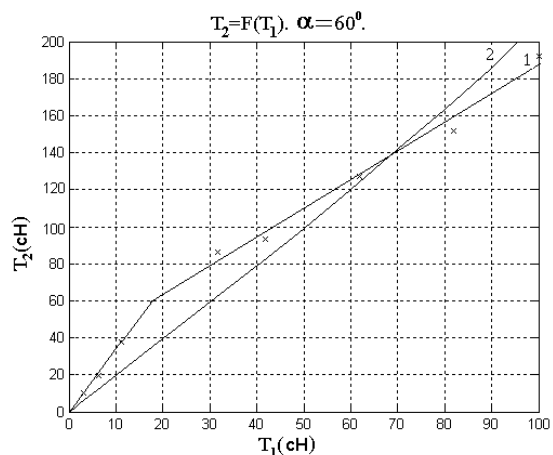


Рис. 3

тельно больше силы T_1 , но эта разница уменьшается с уменьшением диаметра микроволоки и увеличением угла α между ведущей и ведомой ветвями мононити.

2. При небольших углах α (при $30^\circ, 60^\circ$) зависимости T_2 от T_1 для микроволоок диаметрами 40 и 50 мкм состоят из двух практически прямолинейных участков – первого, выходящего из начала координат, и второго – с меньшим наклоном, не выходящего из начала координат. При углах $\alpha=90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$ на зависимостях T_2 от T_1 для всех микроволоок, а также при всех углах для микроволоок диаметром 30 мкм наблюдается только один участок. Наличие двух участков выражено тем сильнее, чем больше диаметр микроволоки и чем меньше угол α . Для обычных текстильных нитей наличие двух участков на таких зависимостях не наблюдается.

3. Изменение скорости движения тензодатчика 4 незначительно влияет на значение силы натяжения ведущей нити.

4. Наблюдаются различия в натяжениях ветвей мононити при наличии и отсутствии смазки иглы машинным маслом. Однако характер зависимости установить не

удалось. Требуется дальнейшие исследования.

Было интересно сопоставить экспериментальные зависимости, полученные нами, с теоретическими зависимостями.

Для абсолютно гибкой нити связь между T_2 и T_1 дается формулой Эйлера: $T_2 = T_1 e^{\mu\varphi}$, где μ – коэффициент трения нити об иглу; $\varphi = (\pi - \alpha)$ – идеальный угол охвата иглы нитью. Видно, что при неизменном угле α , а следовательно, и при неизменном угле φ , T_2 прямо пропорциональна T_1 , то есть на зависимости T_2 от T_1 может наблюдаться только один участок. Поэтому формула Эйлера не может объяснить наших результатов.

Далее мы попытались объяснить полученные результаты, полагая, что металлическая нить абсолютно упругая. В этом случае наличие двух участков может быть связано с переходом при увеличении растягивающих сил от точечного контакта нити с иглой сил к линейному контакту (при точечном контакте нить касается иглы в одной точке, при линейном – на участке).

Имеется ряд работ, теоретически рассматривающих огибание иглы упругой нитью. Для упругой нити наиболее обоснованными нам представляются работы В.М. Кагана и В.П. Щербакова [1], [2]. Согласно этим работам при линейном контакте связь между T_2 и T_1 дается следующим уравнением:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{\cos \gamma_1 + \mu \sin \gamma_1}{\cos \gamma_2 - \mu \sin \gamma_2} e^{\mu(\varphi - \gamma_1 - \gamma_2)}. \quad (1)$$

При этом, если изгибающий момент на концах ведущей и ведомой нитей равен нулю, то

$$\cos \gamma_1 = 1 - \frac{H}{2T_1 R^2}, \quad (2)$$

$$\cos \gamma_2 = 1 - \frac{H}{2T_2 R^2}, \quad (3)$$

где $H=IE$ – жесткость нити при изгибе; R – радиус оси микропроволоки при огибании ею иглы.

Выражая в двух последних формулах T через $\cos \gamma$ и беря отношение T_2 к T_1 , получим:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{1 - \cos \gamma_2}{1 - \cos \gamma_1}. \quad (4)$$

Подставив это выражение в (1) и осуществив небольшие преобразования, будем иметь:

$$\begin{aligned} \frac{1 - \cos \gamma_1}{\cos \gamma_1 + \mu \sin \gamma_1} e^{\mu\gamma_1} &= \\ &= \frac{1 - \cos \gamma_2}{\cos \gamma_2 - \mu \sin \gamma_2} e^{\mu(\varphi - \gamma_2)}. \end{aligned} \quad (5)$$

В вышеприведенных формулах μ – коэффициент трения нити об иглу; $I = \pi d^4 / 64$ – момент инерции нити; d – ее диаметр; E – ее модуль упругости; φ – идеальный угол охвата иглы нитью (угол охвата при нулевой изгибной жесткости нити, у нас $\varphi = \pi - \alpha$); γ_1, γ_2 – углы, показывающие, насколько уменьшается угол охвата за счет жесткости нити (все углы измеряются в этих формулах в радианах).

Угол $(\varphi - \gamma_1 - \gamma_2)$ – реальный угол охвата иглы нитью. Величина R складывается из радиуса иглы и радиуса поперечного сечения микропроволоки.

Модуль упругости использованной нами микропроволоки ЭИ708А диаметром 50 мкм определялся по деформационным кривым. Он оказался равным $15,5 \cdot 10^8$ сН/см².

Затем по известному диаметру микропроволоки был рассчитан ее момент инерции I , а далее – ее жесткость при изгибе H . Она оказалось равной $4,8 \cdot 10^{-2}$ сН·см².

Расчет по полученным формулам производился следующим образом.

Задаваясь значением силы T_1 , по формуле (2), зная H и R , определяли угол γ_1 , а затем, задаваясь коэффициентом трения μ , из формулы (5) определяли угол γ_2 . Подставляя его в формулу (3), вычисляли зна-

чение силы T_2 . При этом сумма углов γ_1 и γ_2 не должна превосходить угол $\varphi = \pi - \alpha$. Если это происходит, имеет место точечный контакт. При точечном контакте радиус кривизны ρ нити в точке касания равен или больше R .

Можно показать, что формулы (1)...(3) справедливы не только при линейном, но и при точечном контакте. Надо только учитывать, что для точечного контакта реальный угол охвата $(\varphi - \gamma_1 - \gamma_2) = 0$ и вместо R в них надо подставлять радиус изгиба микропроволоки ρ в точке касания. Поскольку формула (4) получена из формул (2) и (3), она также справедлива.

Приняв реальный угол охвата $(\varphi - \gamma_1 - \gamma_2)$ равным нулю, вместо формулы (1) для точечного контакта получим:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{\cos \gamma_1 + \mu \sin \gamma_1}{\cos \gamma_2 - \mu \sin \gamma_2}. \quad (6)$$

Используя далее формулы (4) и (6) и учитывая, что при точечном контакте $\varphi - \gamma_1 + \gamma_2 = 0$ или $\varphi = \gamma_1 + \gamma_2$, получим:

$$\begin{aligned} \frac{1 - \cos \gamma_1}{\cos \gamma_1 + \mu \sin \gamma_1} &= \\ &= \frac{1 - \cos(\varphi - \gamma_1)}{\cos(\varphi - \gamma_1) - \mu \sin(\varphi - \gamma_1)}. \end{aligned} \quad (7)$$

Задавая угол $\varphi = \pi - \alpha$ и коэффициент трения μ , из этого уравнения определяли угол γ_1 , а затем из выражения $\gamma_2 = \pi - \gamma_1 - \alpha$ – угол γ_2 . Как показывает формула (7), при точечном контакте углы γ_1 и γ_2 от радиуса кривизны ρ микропроволоки в точке контакта не зависят.

Задаваясь далее радиусом кривизны микропроволоки в точке контакта (он должен быть больше R), по формулам (2) и (3) определяли значения сил T_1 и T_2 , при которых имеет место данный радиус кривизны.

Все расчеты производились по специально разработанным программам.

Результаты расчетов показали, что при любых коэффициентах трения μ и при любых углах α зависимости T_2 от T_1 , как и

для абсолютно гибкой нити, практически прямолинейны, наличия двух участков на них не наблюдается. Изменение коэффициента трения или угла α приводит только к изменению угла наклона этой зависимости к оси T_1 . Переход от точечного к линейному контакту наклона этой зависимости не меняет.

В качестве примера на рис. 2...4 представлены эти зависимости для коэффициента трения $\mu = 0,40$. При этом коэффициенте трения результаты расчета наиболее близки к экспериментальным результатам. (По литературным данным коэффициент трения стали о сталь для плоских поверхностей составляет всего 0,18).

Видно, что теоретические кривые довольно хорошо совпадают с экспериментом лишь при довольно большом угле α ($\alpha = 90^\circ$) (небольшом угле охвата), когда экспериментальные зависимости имеют практически прямолинейную форму. То же самое имеет место и при углах $\alpha = 120^\circ, 150^\circ$. При малых углах α (больших углах охвата), где экспериментальные зависимости не прямолинейны, согласия между экспериментом и теорией не наблюдается. При этом различия тем сильнее, чем меньше угол α .

Наблюдающиеся различия между экспериментом и теорией могут быть связаны с тем, что микропроволока не является абсолютно упругой, как принимается в теории, а обладает упруго-пластическими свойствами. Поэтому в дальнейшем предполагается, во-первых, получить зависимость момента сил, изгибающего микропроволоку, от радиуса кривизны микропроволоки, а, во-вторых, если эта зависимость указывает на упруго-пластические свойства микропроволоки, на основе этой зависимости получить теоретическую зависимость T_2 от T_1 .

ВЫВОДЫ

1. Разработана приставка к разрывной машине для получения зависимости натяжения T_2 ведущей ветви нити от натяжения T_1 ведомой при огибании нитью трикотажной иглы.

2. Получены зависимости T_2 от T_1 для стальных микропроволок разных диаметров при разных углах охвата и разных скоростях движения микропроволок и показано, что при малых углах охвата имеет место практически прямолинейная зависимость T_2 от T_1 , проходящая через начало координат, а при больших углах охвата она состоит из двух практически прямолинейных участков, то есть на указанных зависимостях имеется излом. Ранее подобных зависимостей не наблюдалось.

3. Проведено сопоставление экспериментальных и теоретических зависимостей T_2 от T_1 в предположении, что микропроволока абсолютно упругая, и показано, что согласие между ними имеет место только при малых углах охвата, при которых от-

сутствует излом. Это может быть связано с тем, что микропроволока не является абсолютно упругой, как принималось при расчетах, а обладает упруго-пластическими свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каган В.М., Щербаков В.П. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. –2003, №2. С. 86...91.

2. Каган В.М., Щербаков В.П. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. –2003, № 4. С.10...18.

Рекомендована кафедрой технологии трикотажного производства. Поступила 20.11.06.