

УДК 677-486.2:539.11

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАВИСИМОСТИ МОМЕНТА СИЛЫ,
ИЗГИБАЮЩЕГО УПРУГОПЛАСТИЧЕСКУЮ НИТЬ,
ОТ ЕЕ РАДИУСА КРИВИЗНЫ**

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

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

Ранее в [1] нами описана экспериментально полученная зависимость между натяжениями ведущей и ведомой ветвей микропроволоки при огибании ею трикотажной иглы и показано, что если микропроволока упругая, эта зависимость теоретически не объясняется. Не исключено, что ее можно будет объяснить, если микропроволока обладает упругопластическими свойствами. Поскольку в основе теоретических расчетов лежит зависимость изгибающего момента от радиуса кривиз-

ны изгибаемой нити, возникла необходимость получить эту зависимость для микропроволоки.

Для определения зависимости между радиусом кривизны, например, полотна или достаточно толстого стержня, и изгибающим их моментом сил существует довольно много методов. Однако использование их в случае тонкой нити (в том числе и микропроволоки) встречает большие трудности, связанные со сложностью из-

мерения моментов сил, малых по величине.

Нами предлагается новый метод, который не требует измерений моментов и применим в случае упругопластических нитей. Метод основан на следующем хорошо известном экспериментальном наблюдении.

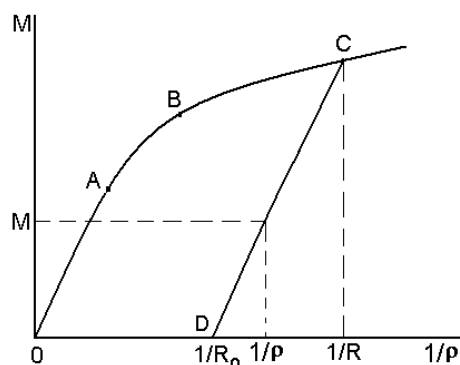


Рис. 1

Как известно, при наличии упругопластической деформации зависимость между моментом силы M и обратным радиусом кривизны $1/\rho$ тонкого стержня (например, микропроволоки) в общем случае имеет вид, изображенный на рис. 1.

На прямолинейном участке OA (участке упругости) изгибающий момент M определяется формулой: $M = H/\rho$, где ρ – радиус кривизны микропроволоки (величину $1/\rho$ обычно называют кривизной микропроволоки); H – ее жесткость на изгиб.

Величина H определяется по формуле: $H = EI$, где I – момент инерции микропроволоки (для микропроволоки круглого поперечного сечения диаметром d величина $I = \pi d^4/64$); E – модуль упругости микропроволоки (модуль Юнга). Правее точки A микропроволока все сильнее проявляет пластические свойства.

Если микропроволока изогнута до радиуса R (точка C), а затем предоставлена самой себе ($M=0$), происходит частичное ее распрямление по прямой CD , параллельной прямой OA .

При $M=0$ радиус кривизны микропроволоки принимает величину R_0 . Если затем вновь изгибать микропроволоку до радиуса ρ (при $R \leq \rho \leq R_0$), то изгиб будет про-

исходить по прямой DC , параллельной OA , и изгибающий момент будет определяться формулой $M = H(1/\rho - 1/R_0)$.

Изгибающий момент, соответствующий точке C , в которой $\rho = R$, можно при этом определить по формуле $M = H(1/R - 1/R_0)$. Именно эта формула и положена в основу использованного нами метода.

Исследования проводились на часто используемой нами стальной микропроволоке ЭИ 708А диаметром $d = 50$ мкм. Предварительно, используя Инстрон-1122, был определен модуль Юнга этой микропроволоки. Он оказался равным $15,5 \cdot 10^8$ сН/см². Затем по известному диаметру микропроволоки был рассчитан ее момент инерции I и после этого – ее жесткость на изгиб H . Она оказалась равной $4,8 \cdot 10^{-2}$ сН·см².

Далее действовали следующим образом. Брели стержни с круглым поперечным сечением диаметром D (радиусом $R_1 = D/2$) (диаметр стержня измеряли микрометром) и наматывали на них микропроволоку. Радиус кривизны R микропроволоки при этом был равен $(R_1 + d/2)$.

Затем микропроволоку предоставляли самой себе. Микропроволока принимала форму окружности диаметром D_0 . С помощью штангенциркуля измеряли этот диаметр и рассчитывали R_0 по формуле $R_0 = D_0/2$.

Момент силы, изгибающий микропроволоку до радиуса кривизны R , рассчитывали по вышеприведенной формуле $M = H(1/R - 1/R_0)$. Для каждого стержня измерения R_0 проводили несколько раз.

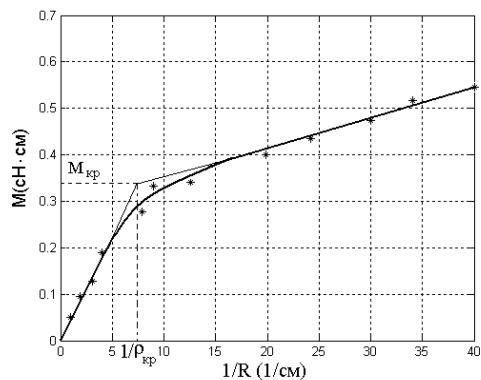


Рис. 2

На рис.2 представлена построенная по экспериментальным данным зависимость изгибающего момента M от обратного радиуса кривизны ρ микропроволоки.

Видим, что изгиб микропроволоки действительно носит упругопластический характер. Радиус изгиба $\rho_{кр}$, при котором начинается упругопластический изгиб микропроволоки диаметром 50 мкм, соответствует примерно 1,43 мм. При большем радиусе изгиб упругий. Изгибающий момент $M_{кр}$, соответствующий $\rho_{кр}$, для такой микропроволоки составляет примерно 0,34 сН·см. Для микропроволоки другого диаметра $\rho_{кр}$ и $M_{кр}$ должны быть другими.

Подобную зависимость M от $1/\rho$ при теоретических расчетах для их упрощения обычно аппроксимируют в виде кусочно-ломаных прямых (в виде двух прямолинейных отрезков – один от 0 до критической точки, другой – после критической точки).

Когда нить огибает иглу, она вначале увеличивает свою кривизну, а затем начинается распрямление нити. Здесь мы получили зависимость M от $1/\rho$ на участке увеличения кривизны. Получить зависимость M от $1/\rho$ на участке распрямления описанным способом затруднительно.

Мы попытались получить ее другим способом, суть которого в следующем.

Как известно, зависимость $M(1/\rho)$ можно получить из зависимости $\sigma(\epsilon)$. Для упругопластического стержня в общем случае она должна иметь вид участка ОВС (рис. 3), то есть быть похожей на зависимость $M(1/\rho)$.

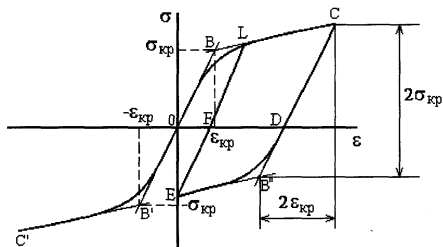


Рис. 3

Кривые $\sigma(\epsilon)$ при растяжении и сжатии для большинства материалов весьма близки и мы будем полагать их в дальнейшем

совпадающими. Это означает, что кривые растяжения ОВС и сжатия ОВ'С' (рис. 3) совпадают.

Если образец растянуть до точки С, а затем отпустить (разгрузить), разгрузка происходит по прямой CD, параллельной прямой ОВ. При этом у образца появится остаточная деформация, равная длине участка OD.

Если необходимо достичь нулевой относительной деформации образца, то его необходимо сжать. Сжатие происходит по кривой DB''E. При этом, если материал циклически идеален, то длина участка СВ'' равна длине участка ВВ'. Наклон участка В''E равен наклону участка ВС.

Если после достижения точки E снять сжимающее напряжение, образец попадет в точку F, остаточная деформация станет равной длине участка OF. Если затем образец растянуть до точки С, разгрузить, сжать до $\epsilon=0$, снять сжимающее напряжение и растянуть до точки L, процесс будет происходить по циклу FLCB''EF.

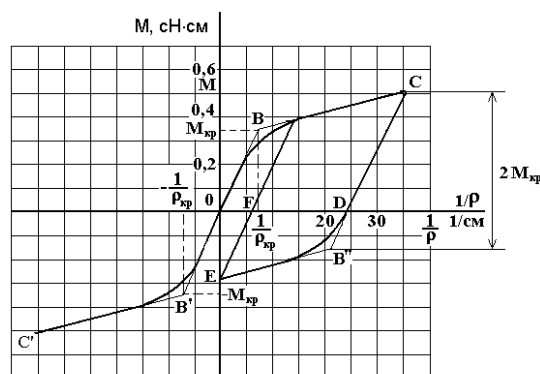


Рис. 4

Можно показать, что аналогично должна вести себя и зависимость $M(1/\rho)$ (рис.4).

Участок ОВС соответствует увеличению кривизны микропроволоки, участок СВ''E – распрямлению микропроволоки, точка F – кривизне микропроволоки после снятия распрямляющего момента. Участок СВ'' должен быть параллелен участку ОВ, а участок В''E – участку ВС. Максимальный момент на этом графике соответствует радиусу кривизны микропроволоки 0,275 мм при огибании ею иглы радиусом 0,25 мм. Именно такая игла использова-

лась при экспериментальных исследованиях в [1].

Здесь следует отметить, что если исходную микропроволоку изгибать в противоположном направлении, то зависимость M от $1/\rho$ будет описываться кривой $OB'C'$. При этом участок OB' является продолжением участка OB и равен ему по величине, а участок $B'C'$ параллелен участку BC . Радиусы кривизны и моменты сил, соответствующие точкам B и B' , равны по величине и противоположны по знаку. Длины участков $B'B$ и CB'' равны.

Аналогичный вид зависимости $M(1/\rho)$ в цикле, но для случая появления пластического шарнира при $\rho < \rho_{кр}$, описан в работе [2].

Как уже упоминалось, в [1] описаны исследования по связи натяжения T_2 ведущей ветви микропроволоки с натяжением T_1 ведомой ветки при огибании микропроволокой трикотажной иглы. Скорость микропроволоки была невелика и изменялась в пределах от 100 до 1000 мм/мин. Изменение скорости микропроволоки в этом довольно широком диапазоне практически не влияло на зависимость T_2 от T_1 . Это позволяет в дальнейшем при теоретическом объяснении хода полученной нами зависимости T_2 от T_1 скорость микропроволоки не учитывать и использовать для этого объяснения зависимость $M(1/\rho)$, полученную нами в статическом режиме. Подобный подход использовался часто и другими исследователями, в частности, в работах [2], [3].

Разработанный метод может быть использован не только для упругопластической микропроволоки, но и для любых упругопластических нитей.

ВЫВОДЫ

1. Разработан простой метод получения зависимости момента M , изгибающего упругопластическую нить, от ее радиуса кривизны ρ .

2. Получена экспериментальная зависимость $M(1/\rho)$ для стальной микропроволоки диаметром 50 мкм и показано, что при уменьшении радиуса кривизны до определенной величины, зависящей от диаметра микропроволоки, изгиб происходит упруго, а при меньшем радиусе кривизны – упругопластически.

3. Показано, как по полученной зависимости $M(1/\rho)$ для циклически идеально-го материала получить данную зависимость в цикле.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Беляев О.Ф., Заваруев В.А., Кудрявин Л.А.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности 2007, №1.
2. *Цитович И.Г.* Технологическое обеспечение качества и эффективности процессов вязания поперечновязаного трикотажа: Монография. – М.: Легпромбытиздат, 1992.
3. *Каган В.М., Щербаков В.П.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2003, №2. С.86...91.

Рекомендована кафедрой технологии трикотажного производства. Поступила 20.11.06.