

ОТДЕЛЕНИЕ ЧАСТИЦ ВОЛОКОН (ДЕТРИТА) ПРИ СТИРКЕ ТКАНЕЙ

Отделение детрита с тканей происходит вследствие многообразных воздействий, полный перечень которых, по-видимому трудно составить.

Существенными воздействиями в процессе эксплуатации изделий являются истирание и многократное деформирование, как во время носки изделий, так и в процессах чистки и стирки [1].

Весьма интенсивным воздействиям подвергается изделие в процессе стирки. Поэтому рассмотрим воздействие процесса стирки в стиральной машине на ткань изделия (рис. 1).

Основными рабочими "органами", осуществляющими воздействие на ткань являются диск (с ребрами) машины и вода, заполняющая слой некоторой высоты H рабочей полости A .

Если в воде не находится обрабатываемая ткань, то осуществляется турбулентное движение воды, обусловленное вращением слоев воды в двух плоскостях.

Первое движение - вращение столба жидкости вокруг оси OO_1 , второе движение - вращение вокруг некоторой оси aa_1 .

Эти два вида движений зависят от того, что окружная скорость v_e периферийной точки e ребра III диска II образует составляющие v_{eg} и $v_{ев}$ в горизонтальной и вертикальной плоскостях (в плоскости, перпендикулярной оси OO_1 , и в плоскости, перпендикулярной оси aa_1).

Величина v_{eg} колеблется около среднего значения

$$v_{eg\text{ ср}} = \frac{v_e + v_e \cos \alpha}{2} \quad (1)$$

Среднюю величину скорости $v_{ев}$ упрощенно можно принять так:

$$v_{ев\text{ ср}} = \frac{1}{2} v_e \sin \alpha \quad , \quad (2)$$

где α - угол наклона днища стиральной машины по отношению к оси (уровню спокойной воды).

Величина v_e определяется по формуле

$$v_e = \frac{2 \pi r n}{60} \quad , \quad (3)$$

где r - радиус диска машины; n - число оборотов вала двигателя стиральной машины.

За один оборот жгута материала происходит один цикл перехода из зоны низкого давления в зону повышенного давления. Если машина снабжена насосом, происходит "перекачивание" жидкости сквозь слой материала. При этом происходит омывание водой выступающих кончиков волокон материала. В результате получается длительное воздействие изгибающих сил и вытягивание из тела нити отрезка волокна. При этом отдельные более длинные частицы могут отрываться током воды, если длина выступающего конца волокна будет достаточной для стирки и сила отрыва превышает прочность выступающего кончика $P_{р. вол}$.

Действуют и более существенные силы, которые обуславливаются наклоном оси "жгута" стирающегося изделия к плоскости днища машины.

Примем (в первом приближении), что ось "жгута" $\gamma \gamma_1$ проходит через середину отрезка NN_1 , представляющего собой большую ось овала днища машины. Ось $\gamma \gamma_1$ перпендикулярна к линии NN_1 .

Если из точки N_2 верхней поверхности моющего раствора в машине проведем прямую N_2N_3 , параллельную NN_1 , и восставим к линии NN_1 перпендикуляр N_1N_4 , прямая N_1N_4 пересечется прямой N_2N_3 в точке N_5 .

Образуется треугольник $N_1N_5N_6$, в котором угол $N_6N_1N_5$ равен углу α наклона днища машины к горизонтальной плоскости. Длина отрезка N_1N_6 равна длине отрезка NN_2 и равна величине наименьшего столба жидкости в машине.

Длина отрезка N_5N_6 определится как

$$N_5N_6 = N_1N_6 \sin \alpha = H_1 \sin \alpha . \quad (4)$$

Площадь треугольника $N_1N_5N_6$

$$S_1 = \frac{1}{2} N_6N_5N_1N_5 . \quad (5)$$

Но N_1N_5 из треугольника $N_1N_5N_6$ определяется как

$$N_1 N_5 = H_1 \cos \alpha . \quad (6)$$

Подставляя (4) и (6) в (5), получим

$$S_1 = \frac{1}{2} H_1^2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha . \quad (7)$$

Площадь S_1 представляет собой наибольшую площадь "сжатия" жгута стираемого материала при его вращении в машине.

Объем "клина" вытесняемой - "сжимаемой" при вращении жгута ткани определится из рис. 2.

На рис. 2 отрезок $OO_1 = \frac{D}{2}$, отрезок $OO_2 = \frac{1}{2} NN_1 = \frac{1}{2} \frac{D}{\cos \alpha}$, где D - внутренний диаметр бака машины.

Площадь криволинейной фигуры $O_1 O_2 O_3$ определится как четверть разности площади овала B и площади круга A , т.е.

$$S_2 = \frac{\pi}{16} \left(\frac{D^2}{\cos^2 \alpha} - D^2 \right) = \frac{\pi D^2}{16} \left(\frac{1}{\cos^2 \alpha} - 1 \right). \quad (8)$$

Искомый объем "клина" сжимаемой ткани примем равным объему криволинейной пирамиды, основанием которой служит криволинейная фигура $O_1 O_2 O_3$, т.е.

$$Q = \frac{1}{3} \frac{\pi D^2}{16} \left(\frac{1}{\cos^2 \alpha} - 1 \right) H_1 \cos \alpha . \quad (9)$$

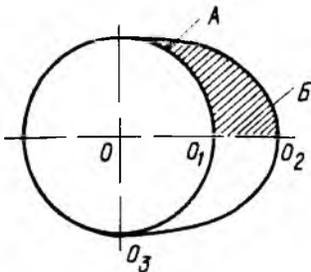


Рис. 2.

Давление, оказываемое при вращении "жгута" на объем ткани, заключенный в "клине" треугольника $N_1 N_5 N_6$, будет равно центробежной силе, развиваемой объемом клина, т.е.

$$F = \frac{m v^2}{R_B}, \quad (10)$$

где F - сила, с которой сжимается ткань; v - окружная скорость вращения жгута; R_B - радиус вращения жгута; m - масса сжимаемого "клина" ткани.

Величина v подлежит определению, а величину R_B примем

$$R_B = \frac{NN_1}{2} = \frac{1}{2} \frac{D}{\cos \alpha}. \quad (11)$$

Величина m определится как

$$m = \frac{G}{g} \quad (12)$$

или

$$m = \frac{Q \delta}{g}, \quad (13)$$

где δ - объемный вес стираемого материала, принимается приближенно, равным удельному весу воды ($\delta = 1$).

Тогда

$$m = \frac{Q}{g}, \quad (14)$$

где G - вес закладываемой в машину ткани; Q - объем.

Величина силы F при подстановке в (10) соотношений (9), (11), (12), (13) выразится как

$$F = \frac{2 G v^2 \cos \alpha}{g D} \quad (15)$$

или

$$F = \frac{\pi D H_1 v^2 \cos^2 \alpha}{24 g} \left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right). \quad (16)$$

Скорость, при которой раствор проходит через ткань, выражается так:

$$v_B = \sqrt{2 g H_T} , \quad (17)$$

где g - ускорение силы тяжести; H_T - давление, т.е. условная высота столба воды, под которым находится ткань.

Величину H_T определим из следующих соображений.

Удельное давление на ткань

$$F_y = \frac{F}{S_1} = \frac{\pi D H_1 v^2 \cdot \cos^2 \alpha \cdot 2}{g \cdot 24 v \cdot H_1^2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha} \left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right)$$

или

$$F_y = \frac{\pi D v}{12 g H_1 \operatorname{tg} \alpha} \left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right). \quad (18)$$

Поскольку давление измеряется в $\text{кгс}/\text{см}^2$, то условная высота столба найдется так:

$$H_T = 10 F_y \quad (19)$$

(давление в $1 \text{ кгс}/\text{см}^2$ соответствует давлению столба воды в 10 н).

Струя воды, выходящая между нитями ткани, будет создавать силу трения, стремящуюся оторвать выступающие из нитей кончики волокон.

По закону внутреннего трения Ньютона сила трения, приходящаяся на единицу площади (в данном случае на единицу площади поверхности выступающего волокна), равна [2]

$$\tau = \nu \rho \frac{d u}{d y} , \quad (20)$$

где τ - удельная сила трения; ν - вязкость жидкости; ρ - удельный вес (плотность) жидкости; u - скорость движения слоя жидкости; y - координата.

В нашем случае, когда движущуюся жидкость можно принять за воду ($t = 45 - 50^\circ \text{C}$), формула (20) принимает вид

$$\tau = 0,66 \frac{v_B}{\Delta y} . \quad (21)$$

Величину Δy определяем как расстояние между нитями утка L_y и нитями основы L_o :

$$L_o = \frac{10}{\Pi_o} - d_o \quad \text{и} \quad L_y = \frac{10}{\Pi_y} - d_y, \quad (22)$$

где Π_o и Π_y - плотность ткани соответственно по основе и утку; d_o и d_y - диаметры нитей основы и утка.

При этих допущениях величина Δy , на которой скорость уменьшается до нуля, определится по формуле

$$\Delta y = \frac{L_o + L_y}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{10}{\Pi_o} - d_o + \frac{10}{\Pi_y} - d_y \right).$$

После преобразований

$$\Delta y = \frac{1}{2\Pi_o\Pi_y} (10\Pi_o + 10\Pi_y - \Pi_y E_o - \Pi_o E_y), \quad (23)$$

где E_o и E_y - линейное заполнение ткани соответственно по основе и по утку.

Величина удельной силы трения

$$\tau = \frac{1,32 \Pi_o \Pi_y}{10\Pi_o + 10\Pi_y - \Pi_y E_o - \Pi_o E_y}. \quad (24)$$

Сила трения, воздействующая на выступающий конец волокна, определится, если использовать формулу (21) из [3], как

$$F_{\text{тр.вол}} = 2\pi d \left[\frac{l}{2} - \frac{P_p}{(n-k)f_{\text{тр}}} \right], \quad (25)$$

где d - диаметр волокна; l - длина волокна; $f_{\text{тр}}$ - сила трения между волокнами; n - общее число волокон в сечении нити; k - число волокон внешнего слоя нити; P_p - разрывная нагрузка нити.

Отделение детрита будет иметь место, если соблюдается неравенство

$$F_{\text{тр.вол}} > P_{\text{р.вол}}, \quad (26)$$

где $P_{\text{р.вол}}$ - разрывная нагрузка волокна.

Из соотношения (26), пользуясь формулами (17), (18), (19), (23), (24) и (25), получим условие появления детрита, отделяемого струей воды, удаляемой из "клина" жгута ткани вследствие его сжатия:

$$P_{\text{р.вол}} < \frac{1,32 \Pi_o \Pi_v}{10 \Pi_o + 10 \Pi_y - \Pi_o E_y - \Pi_o E_y} \sqrt{\frac{10 \pi D v^2}{6 H_1 \operatorname{tg} \alpha \left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right)}} \times \\ \times 2 \pi d \left[\frac{1}{2} - \frac{P_p}{(n-k) f_{\text{тр}}} \right]. \quad (27)$$

Окружная скорость v , развиваемая при вращении жгута ткани, может быть определена из следующих соображений.

Исходной величиной для определения v является скорость n_2 вращения рабочего диска Π машины (рис. 1).

Обозначения для диска Π (рис. 3):

Π_d - выступ диска; h - высота выступа; l_d - длина выступа; k_d - число выступов. Величины h , k_d , l_d - известные.

На жгут ткани действует сложная система сил.

Противодействуют вращению жгута две силы; сила трения, появляющаяся при трении основания жгута о днище машины, и сила трения $f_v G$, вызванная трением между боковой поверхностью жгута и стенкой бака.

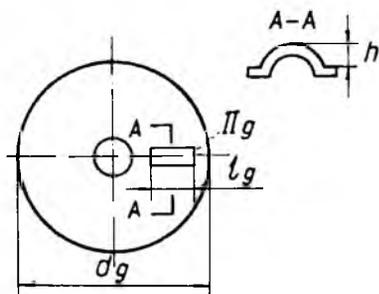


Рис. 3.

Вращение жгута происходит вследствие силы, развиваемой при смятии нижних слоев жгута ткани выступами диска машины. Мы полагаем, что сила смятия зависит от числа воздействий выступов диска машины $(n_2 - \frac{30\omega}{\pi}) k_d$ и может

быть выражена как произведение числа воздействия на величину сечения выступа диска (по высоте) и на величину напряжения смятия мокрой ткани.

Уравнение системы сил напишется так:

$$f_B (G - \frac{G \omega^2}{2gD}) = (n_2 - \frac{30\omega}{\pi}) k_d h \tau_{CM}, \quad (28)$$

где f - коэффициент трения мокрой ткани о внутреннюю металлическую поверхность бака машины; G - вес стираемого материала и воды; τ_{CM} - величина напряжения смятия смоченного жгута ткани при заданной высоте столба воды в баке машины H_1 ; ω - угловая скорость вращения "жгута" ткани.

Все другие, входящие в формулу (28), величины известны или определены ранее.

Неизвестна величина ω .

Решение квадратного уравнения (28) относительно ω - угловой скорости вращения жгута ткани, дает

$$\omega = \sqrt{\left(\frac{15k_o gD}{2\pi G f_B}\right)^2 - \frac{gD(G f_B - k_o n_2)}{2G f_B}} - \frac{15k_o gD}{2\pi G f_B}, \quad (29)$$

где

$$k_o = k_d h l_d \tau_{CM}.$$

Используя полученное выражение для ω , вычислим величину линейной скорости v как

$$v = \omega \frac{D}{2}. \quad (30)$$

Выражение для v из уравнения (30) необходимо подставить в уравнение (27). Получается достаточно громоздкое выражение, которое в развернутом виде приводить не будем.

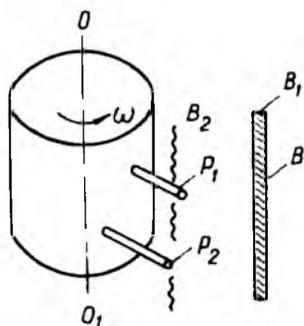


Рис. 4.

Детрит будет отделяться от жгута ткани также и вследствие действия вязкого (внутреннего) трения между водой и выступающими концами волокон.

Условия отделения детрита в этом случае найдутся из следующих рассуждений.

"Жгут" стираемого материала образует цилиндр, на поверхности которого выступают различной длины концы волокон. Эти выступающие концы волокон будут разрезать тонкую водяную пленку, омывающую внутреннюю цилиндрическую поверхность бака машины.

Схема этого явления ясна из рис. 4.

Здесь B - стенка корпуса бака машины; B_1 - поверхностный слой воды (у стенки бака); B_2 - граница поверхностного слоя воды; P_1, P_2 - выступающие концы волокон; OO_1 - ось вращения жгута ткани; ω - угловая скорость вращения жгута ткани (может быть определена из уравнения (29)).

Величину усилия, вызванного движением воды и действующего на волокно, можно определить по закону Ньютона:

$$F_{\text{тр.в.п}} = 2\pi d \left[\frac{1}{2} - \frac{P_p}{(n-k)f_{\text{тр}}} \right] \omega \frac{D}{d} 0,66 \quad (31)$$

или

$$F_{\text{тр.в.п}} = 1,32\pi D \omega \left(\frac{1}{2} - \frac{P_p}{(n-k)f_{\text{тр}}} \right), \quad (32)$$

где $F_{\text{тр.в.п}}$ - сила трения волокон о водяную пленку.

Волокна от действия вязкого трения о воду при движении жгута будут отделяться при условии

$$F_{\text{тр,в.п}} > P_{\text{р.вол}}, \quad (33)$$

т.е.

$$P_{\text{р.вол}} < 1,32 \pi D \omega \left(\frac{1}{2} - \frac{P}{(n-k)f_{\text{тр}}} \right). \quad (34)$$

Дан анализ воздействия на стираемую ткань и составляющие ее волокна тока воды, проходящей через ткань, и воздействие на ткань вязкого трения о воду при стирке изделия.

Аналитически получено условие отделения частиц волокон (детрита) с ткани под воздействием воды при стирке в зависимости от плотности и заполнения ткани и физико-механических свойств пряжи и волокон.

Л и т е р а т у р а

1. Кукин Г.Н., Соловьев А.Н. Текстильное материаловедение, ч. III, М., 1967. 2. Теплов А.В., Виханский Л.Н., Чарей В.Е. Основы гидравлики. Л., 1968. 3. Сутормина Р.В. К вопросу об отделении волокнистых частиц (детрита) с ткани при многократном ее деформировании. - В сб.: Легкая промышленность. Минск, 1973.

Ю.Г. Виноградова

КИНЕТИКА ИЗНАШИВАНИЯ НЕТКАНЫХ ВЯЗАЛЬНО-ПРОШИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Способность материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях есть износостойкость, которая является одним из наиболее важных эксплуатационных свойств.

Кинетические характеристики износа любых материалов дают наиболее полное представление о самом материале, его пригодности для изделий бытового назначения.

Технологический процесс выработки нетканых материалов создан сравнительно недавно, поэтому работ по исследованию кинетики изнашивания их в технической литературе обнаружить не удалось.

Целью настоящего исследования является изучение кинетических характеристик износа нетканых вязально-прошивных материалов, отличающихся друг от друга волокнистым составом