

УДК 677.71.027

И.В.Хромов, А.В.Хромова

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

root@sevgtu.sebastopol.ua

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЛУЧАЙНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДИАМЕТРА СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ В КАНАТНОМ ПРОИЗ- ВОДСТВЕ

Дана оценка величины технологического допуска на диаметр стальной проволоки в условиях канатного производства с использованием статистических характеристик случайной выборки.

При изготовлении стального каната структура его поперечного сечения может иметь один из характерных вариантов, представленных на рисунке 1. В первом случае (рисунок 1, а) образуется зазор между сердечником и наружным слоем свиваемых элементов (нарушен радиальный контакт). Канат имеет рыхлую структуру, при эксплуатации его элементы нагружаются неравномерно, снижается прочность и долговечность. Во втором случае (рисунок 1, б) возникает зазор δ между проволоками слоя (нарушен тангенциальный контакт). Этот зазор положительно влияет на прочность и долговечность каната, но его чрезмерное увеличение снижает коэффициент заполнения поперечного сечения и, в конечном счете, прочность каната.

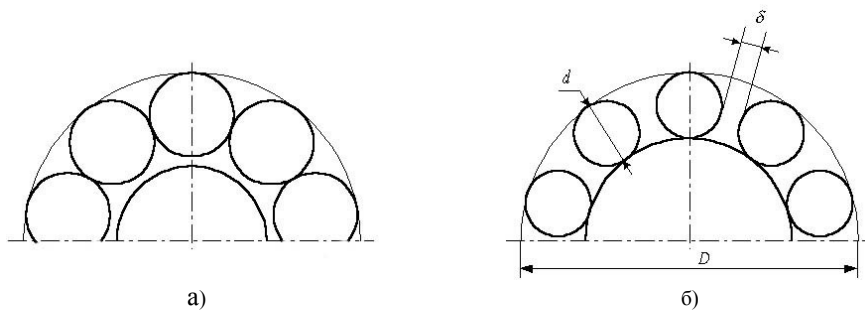


Рисунок 1. —Варианты поперечного сечения каната

Одна из задач проектирования каната заключается в расчёте диаметра пряди (или проволоки) d по заданным величинам: δ - зазор, D - диаметр каната, D_c - диаметр сердечника, k - кратность свивки, n - количество элементов в слое. Для решения задачи используют методы аналитической геометрии. В частности, в данном примере расчёт сводится к решению нелинейного уравнения [1]:

$$1 + \frac{1}{2} \sqrt{2(1 - \cos \varepsilon) + (\lambda - \varepsilon) \sin \varepsilon} - \frac{\pi}{k} \sqrt{\frac{\sin \varepsilon}{\lambda - \varepsilon}} = 0, \quad (1)$$

где $\lambda = 2\pi/n$; ε — вспомогательные геометрические характеристики (углы).

После вычисления ε диаметр элементов d находится по формуле [1]:

$$d = \left(1 - \frac{k}{\pi} \sqrt{\frac{\lambda - \varepsilon}{\sin \varepsilon}} \right) \cdot D - \delta. \quad (2)$$

Указанная методика расчёта опирается на предположение, что диаметр всех элементов каната не является случайной величиной и имеет строго одинаковые значения. В действительности диаметр проволок является случайной величиной и поэтому достоверность решения задачи по обеспечению оптимальных зазоров δ существенно зависит от точности технологического процесса производства канатной проволоки. Однако в литературе нет сведений об исследовании точности изготовления проволоки применительно к реальному производству.

Целью данной работы является проведение серии измерений диаметра стальной канатной проволоки в действующем производстве и определение действительного технологического допуска с использованием известных положений теории взаимозаменяемости [2]. Согласно общепринятым гипотезам этой теории предполагается, что диаметр цилиндрических изделий в серийном производстве является нормально распределённой генеральной совокупностью, т.е. представляет статистический массив бесконечно большого объёма выборки, в котором аргумент d распределён по нормальному закону:

$$f(d) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(d - \bar{d})^2}{2\sigma^2}}, \quad (3)$$

где $\bar{d}$ - математическое ожидание диаметра изделия; σ - стандарт случайной величины d (среднеквадратическое отклонение).

При проектировании конструкции каната минимальное и максимальное значения диаметра проволоки определяют на основании заданных предельных отклонений Δd , указанных в нормативных документах (стандартах):

$$d_{\min} = \bar{d} - \Delta d_1, \quad d_{\max} = \bar{d} + \Delta d_2. \quad (4)$$

Для проверки рассчитанных по формулам (4) значений диаметра выполнен эксперимент для круглой тннутой проволоки качества Б с цинковым покрытием группы Ж, используемый в канатах обычного назначения (по ИСО 2232) – диаметра $d_0 = 0,85$ с регламентируемым предельным отклонением $\Delta d = \pm 0,02$ мм. Образцы проволоки отобраны в условиях цеха

ОАО «Силур» (г. Харцызск) с различных, случайно выбранных питающих катушек канатовьюющей машины. Диаметр проволоки измеряли в различных поперечных сечениях по её длине прибором с ценой деления 0,001 мм. Получена случайная выборка $d_1, \dots, d_n$ объёмом $n=142$, для которой рассчитаны среднее значение и стандарт по формулам:

$$\bar{d}_e = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i, \quad \sigma_e = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d}_e)^2}.$$

Известно, что среднее значение $\bar{d}_e$ (оценка математического ожидания) и стандарт σ_e случайной выборки d_i отличаются от математического ожидания $\bar{d}$ и стандарта σ нормальной генеральной совокупности d . Поэтому по выборке d_i можно сделать некоторую оценку неизвестных параметров $\bar{d}, \sigma$. Согласно методу максимального правдоподобия [3] наиболее вероятными значениями (“точечной оценкой”) искомых параметров $\bar{d}, \sigma$ являются соответственно среднее значение $\bar{d}_e$ и стандарт σ_e случайной выборки.

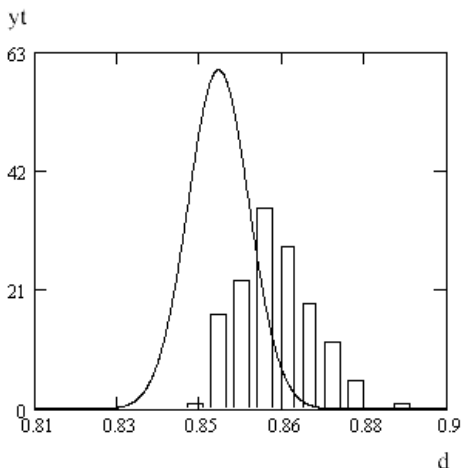


Рисунок 2 – Результаты обработки данных измерений

Обработка результатов выполненных измерений реализована на компьютере. Графическое изображение результатов обработки дано на рисунке 2.

$$\bar{d} = d_0 = 0,85; \quad \Delta d = 0,02; \quad \sigma = \frac{\Delta d}{3} = \frac{0,02}{3} = 0,0067; \quad y_t = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(d - \bar{d})^2}{2}};$$

$$\bar{d}_e = 0,864; \quad \sigma_e = 8,309 \times 10^{-3}; \quad f_e = \frac{y_k}{n}$$

Из рисунка 2 видно, что характер распределения случайной выборки диаметра d_i (на рисунке распределение показано в виде гистограммы) качественно соответствует предполагаемому нормальному закону распределения генеральной совокупности d (теоретическое распределение показано

сплошной линией). При этом среднее значение выборки $\bar{d}_g$ несколько отличается от номинального значения диаметра d_0 .

Наименьшее и наибольшее значения диаметра проволоки, а также технологический допуск, определяемые по результатам статистической обработки данных, будут равны [2]: $d_{g\min} = \bar{d}_g - l \cdot \sigma_g = 0,835 \cdot 10^{-3} \text{ м};$

$$d_{g\max} = \bar{d}_g + l \cdot \sigma_g = 0,893 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad T_g = d_{g\min} - d_{g\max} = 0,058 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad (5)$$

где l – коэффициент, зависящий от объёма выборки, допустимой вероятности получения брака (2β) и вероятности P того, что $(1-2\beta)$ элементов генеральной совокупности d имеют размер, лежащий в пределах, определяемых формулами (5) ($l=3,5$ при $P=0,95$; $2\beta=0,0025$; $n=145$, согласно данным работы [2]); T_g – технологический допуск, определяемый по случайной выборке.

Предельные значения d и допуск согласно формулам (4) будут равны:

$$d_{\min} = 0,85 - 0,02 = 0,83 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad d_{\max} = 0,85 + 0,02 = 0,87 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \\ T = 0,87 - 0,83 = 0,04 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Таким образом, в рассмотренном случае технологический допуск T_g больше нормативного допуска T , т.е. технологический процесс не обеспечивает заданную точность изготовления проволоки. Следует отметить, что характер действительного распределения случайной величины диаметра тянутой стальной проволоки соответствует нормальному закону распределения. Для надёжного проектирования геометрической структуры стальных канатов с заданной величиной межпроволочных зазоров необходимо экспериментально уточнять действительное значение технологического допуска в условиях конкретного канатного производства и принимать меры, направленные на повышение качества оборудования.

Библиографический список

1. Глушко М.Ф. Стальные подъёмные канаты / М.Ф. Глушко. — К.: Техника, 1966. — 328 с.
2. Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / А.И. Якушев, Л.Н. Воронцов, Н.М. Федотов. — М.: Машиностроение, 1986. — 352 с.
3. Агекян Т.А. Основы теории ошибок / Т.А. Агекян. — М.: Наука, 1972. — 170 с.

Поступила в редакцию 20.03.2002 г.