

Л. А. Яковлева

ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРОСОВЫХ И СТЕРЖНЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАПОРНО-ПЛОМБИРОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ И ИХ УСТОЙЧИВОСТЬ К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

В статье на основе данных сопротивления материалов приведены способы определения прочностных характеристик деталей ЗПУ, а также указаны способы улучшения прочностных характеристик деталей и ЗПУ в целом.

Ключевые слова: запорно-пломбировочные устройства, прочностные характеристики ЗПУ, устойчивость к механическим воздействиям, надежность конструкции ЗПУ.

L.A. Yakovleva

STRENGTH PROPERTIES OF ROPE AND ROD ELEMENTS OF LOCKING-SEALING DEVICES AND THEIR RESISTANCE TO PHYSICAL IMPACT

The article describes several ways to examine strength properties of locking-sealing devices basing on the structural resistance data analysis. The ways to improve strength properties of details and locking-sealing devices have also been pointed out.

Keywords: locking-sealing devices; strength properties; resistance to physical impact; ruggedness of locking-sealing devices.

На сегодняшний день запорно-пломбировочные устройства активно применяются как в международной, так и в отечественной практике систем безопасности. Разработка различных конструкций ЗПУ способствует расширению их номенклатуры. Конструкции этих изделий совмещают функции индикации криминального вмешательства и одноразового запирающего устройства [1, с. 34]. Однако несмотря на большое разнообразие конструктивных особенностей, основной целью их эксплуатации является надежность при несанкционированном воздействии. Надежность конструкции зависит от ряда факторов. К наиболее существенным можно отнести:

- прочностные свойства ЗПУ в целом, а также ее отдельных составных элементов;

- сохранность при длительной эксплуатации.

Основными конструктивными элементами ЗПУ являются трос либо стержень [2, с. 80]. Именно они наиболее подвержены различным нагрузкам, возникающим как при воздействиях криминального характера, так и в результате транспортировки объектов защиты. Все эти нагрузки подразделяются на статические, динамические и знакопеременные. Статические нагрузки не изменяются в течение длительного промежутка времени. Результатом таких нагрузок на детали могут являться следующие деформации:

- осевое сжатие-растяжение, когда к деталям приложены внешние силы вдоль оси стержня;
- перерезывающие или сдвигающие, которые возникают при внешних нагрузках;
- кручение в результате воздействия на детали внешних скручивающих моментов.

Динамические и знакопеременные нагрузки – изменяющиеся нагрузки во времени, по величине и знаку. При всех возможных нагрузках максимальные напряжения (σ_{max}) в деталях не должны превышать допускаемые напряжения (σ_{adm}) для материала, из которого изготовлен трос или стержень ЗПУ.

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{adm}; \sigma_{adm} = \frac{\sigma_{lim}}{k}, \quad (1)$$

где σ_{lim} – предельное напряжение; k – коэффициент запаса прочности.

Рассчитать прочность основных деталей ЗПУ, испытывающих статические нагрузки, а также различные виды деформаций и напряжений возможно по формулам, приведенным ниже [3, с. 33].

Максимальные напряжения при растяжении рассчитываются по формуле:

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A} \leq \sigma_{adm}, \quad (2)$$

где σ_{max} – максимальные напряжения, действующие на стержень;

F_{max} – максимальная внешняя нагрузка; A – площадь поперечного сечения; σ_{adm} – допускаемое напряжение, выше которого деталь ЗПУ может разрушиться.

Стержни испытывают касательные напряжения при сдвигающих нагрузках и рассчитываются следующим образом:

$$\tau_{max} \leq \tau_{adm}, \quad (3)$$

где τ_{max} – максимальные касательные напряжения при сдвиге; Q_{max} – максимальная поперечная сила (перерезающая сила); A – площадь поперечного сечения стержня; τ_{adm} – допускаемые касательные напряжения.

Максимальные напряжения при кручении, приложенные к деталям, определяются с использованием формулы:

$$\tau_{max} \leq \tau_{adm}, \quad (4)$$

где τ_{max} – максимальные касательные напряжения при кручении;

$M_{кр}$ – максимальный крутящий момент, прикладываемый к деталям ЗПУ; W_p – полярный момент сопротивления, который рассчитывается по формуле:

$$W_p \approx 0,2d^3, \quad (5)$$

где d – диаметр троса или стержня.

Допускаемые напряжения для применяемого металла в тросах или стержнях известны из справочной литературы.

В связи с этим по максимальным силам в формулах 2, 3 и 4, которые могут быть приложены к ЗПУ и допускаемым напряжениям, определяется площадь поперечного сечения основной его детали.

При эксплуатации ЗПУ нагрузки могут быть динамическими, а их действие изменяться во времени с большой скоростью. В таких случаях возникающие напряжения во много раз превосходят напряжения, получаемые от действия статической нагрузки. Определение прочностных свойств тросовых и стержневых элементов ЗПУ, находящихся в условиях динамических нагрузок, намного сложнее, чем при статических нагрузках. Трудность заключается как в более сложных методах расчета усилий и напряжений, возникающих от динамической нагрузки, так и в более сложных методах определения механических свойств материалов, используемых для изготовления деталей ЗПУ. При действии ударной нагрузки некоторые материалы разрушаются как хрупкие, а при статической нагрузке они разрушаются как пластичные.

При действии неоднократно повторяющейся динамической нагрузки прочность материалов существенно снижается [4, с. 29].

Рассчитать напряжения в деталях от динамической нагрузки можно по следующей формуле:

$$\sigma_{\delta} = \sigma_{st} k_{\delta}, \quad (6)$$

где σ_{δ} – напряжение в детали от динамической нагрузки; σ_{st} – напряжение от статической нагрузки; k_{δ} – динамический коэффициент.

Таким образом, определение напряжений и деформаций при динамической нагрузке предполагает определение напряжений и деформаций, вызванных статически приложенной силой, и вычисление динамического коэффициента, значение которого зависит от ряда факторов.

При действии на детали ЗПУ знакопеременной нагрузки они могут разрушаться при меньших напряжениях, чем при действии статических нагрузок. Элементы ЗПУ, подвергающиеся длительное время воздействию переменных нагрузок, могут разрушаться внезапно без остаточных деформаций при напряжениях, значительно меньших предела прочности. Это объясняется тем, что уровень напряжений, вызванных переменными нагрузками, превышает определенный предел и в материале начинают возникать необратимые процессы накопления дислокаций, которые инициируют образование трещин, и разрушение деталей или конструкции в целом происходит без видимых достаточных деформаций.

Процесс накопления дислокаций в материале под действием переменных напряжений, приводящих к разрушению, определяется как усталость материала. Способность материала сопротивляться усталости материала называется выносливостью.

Механизм процесса усталостного разрушения неразрывно связан со структурной неоднородностью материала и наличием дефектов кристаллической решетки [5, с. 165].

Как известно, в настоящее время физическая теория прочности твердых тел находится на такой стадии, что на ее основе нельзя создать методы на выносливость и поэтому теория усталости прочности материалов строится путем накопления эмпирических данных, на основе которых формулируются некоторые правила расчета на выносливость.

Законы изменения нагрузок, а соответственно и напряжений во времени могут иметь сложный характер. В инженерной практике встречаются циклические напряжения, т. е. переменные напряжения, повторяющиеся через определенные промежутки времени, а также напряжения, изменение которых носит синусоидальный характер.

Предел выносливости любой детали определяется экспериментальным методом. Этот предел зависит от нескольких факторов, таких как форма, размер детали, способ ее обработки, состояние поверхности, закон изменения нагрузки во времени и пр.

Максимальное напряжение, при котором материал способен сопротивляться, не разрушаясь при любом произвольно большом числе повторений переменных напряжений, называется пределом выносливости или пределом усталости.

Таким образом, с целью улучшения прочностных характеристик ЗПУ при их производстве необходимо:

- применять однородные материалы с мелкозернистой структурой;
- придавать деталям такие формы, при которых была бы уменьшена концентрация напряжений;
- тщательным образом обрабатывать поверхности деталей;
- использовать специальные методы повышения сопротивления усталости, к числу которых относятся: поверхностное упрочнение (наклеп), а также технологическая тренировка деталей кратковременными нагрузками.

В результате улучшения прочностных характеристик деталей ЗПУ можно повысить устойчивость к разрушающим способам криминального вскрытия конструкции в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Жигалов Н.Ю., Монин А.Г. Особенности разборки современных силовых пломбировочных устройств при исследовании узлов и деталей запирающего механизма // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. 2009. № 4 (51). С. 34–40.
2. Монин А.Г., Сухарев А.Г., Стальмахов А.В., Трубицын Р.Ю. Технические аспекты экспертного исследования запорно-пломбировочных устройств // Судебная экспертиза. Научно-практический журнал. 2011. Вып. 2 (26). С. 80–90.
3. Межецкий Г.Д., Загребин Г.Г., Решентик Н.Н. Сопротивление материалов: учебное пособие. М.: Дашков и К, 2016. 432 с.
4. Калякин А.В., Демина Р.Е., Нагирнер И.И. Примерные образцы написания заключений трасологической экспертизы: учебное пособие. Саратов: Саратовский источник, 2015. 67 с.

5. Сердитов А.Т., Ключников Ю.В., Желдубовский А.В. Влияние вида обработки на толщину упрочненного поверхностного слоя и сопротивление усталости материала // Вестник национального технического университета Украины. Серия Машиностроение. 2010. № 59. С. 165–168.