

БИРЮКОВА Виктория Евгеньевна – студентка, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: v.biryukova.05@gmail.com

About the authors:

DVUZHILOV Anton Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Resistance of Materials, Theory of Elasticity and Plasticity, Tver State Technical University, Tver. E-mail: anton_in_tver@mail.ru

BIRYUKOVA Victoria Evgenievna – Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: v.biryukova.05@gmail.com

УДК 336.226.212.1

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ШПОНОК РЕДУКТОРА

А.С. Двужилов, С.С. Цубера

© Двужилов А.С., Цубера С.С., 2025

Аннотация. Рассмотрен расчет шпоночных соединений в редукторах. Отмечено, что эти редукторы выступают в качестве ключевого элемента, обеспечивающего передачу крутящего момента. Описаны различные типы шпонок, применяемых в редукторах, приведена методика расчета на прочность, включающая проверку на смятие и срез. Представлены рекомендации, касающиеся выбора материалов, учета условий эксплуатации и точности изготовления.

Ключевые слова: редуктор, шпоночное соединение, шпонка, расчет на прочность, смятие, срез, крутящий момент, вал, допускаемые напряжения, материал, надежность, долговечность, проектирование.

Введение

Редукторы как ключевые элементы многих механических систем отвечают за передачу крутящего момента и изменение частоты вращения. Надежность их работы напрямую влияет на эффективность и долговечность всего механизма. Одним из важных элементов, обеспечивающих передачу крутящего момента в редукторе, выступает шпоночное соединение. Шпонка подвергается значительным нагрузкам. Правильный расчет шпоночного соединения на прочность – залог надежной и безопасной работы редуктора [1].

Роль и типы шпонок в редукторах

Шпоночное соединение используется для фиксации деталей (например, вала и зубчатого колеса) относительно друг друга и передачи крутящего момента между ними. Шпонка, устанавливаемая в пазы обеих деталей, является связующим звеном, предотвращающим проворот.

Существует несколько типов шпонок, применяемых в редукторах:

1) призматические (наиболее распространенный тип, простой в изготовлении и монтаже; используются для соединения деталей, подверженных как постоянным, так и переменным нагрузкам);

2) сегментные (применяются в соединениях, где требуется обеспечить самоустановку деталей. Форма этих шпонок позволяет компенсировать небольшие перекосы);

3) клиновые (обеспечивают более надежное соединение, особенно при ударных нагрузках, однако их установка требует крайне точной подгонки);

4) тангенциальные (используются для передачи больших крутящих моментов; их конструкция гарантирует равномерное распределение нагрузки по всей длине шпонки).

Выбор типа шпонки зависит от условий эксплуатации редуктора, величины передаваемого крутящего момента, частоты вращения и требований к точности соединения [2].

Расчет шпоночного соединения на прочность

Основная задача расчета шпоночного соединения – определение размеров шпонки, обеспечивающих ее достаточную прочность при заданных условиях эксплуатации. Расчет включает в себя проверку на смятие и срез.

Расчет на смятие

Смятие происходит на рабочих поверхностях шпонки и пазов вала и ступицы. Условие прочности на смятие имеет вид

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{F}{A_{\text{см}}} \leq [\sigma_{\text{см}}],$$

где $\sigma_{\text{см}}$ – фактическое напряжение смятия, МПа; $A_{\text{см}}$ – площадь контакта, F – сжимающая сила; $[\sigma_{\text{см}}]$ – допускаемое напряжение смятия для материала шпонки, МПа.

Расчет на срез

Срез происходит в плоскости, разделяющей шпонку по ее ширине. Условие прочности на срез имеет вид

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{F}{A_{\text{ср}}} \leq [\tau_{\text{ср}}],$$

где $\tau_{\text{ср}}$ – фактическое напряжение среза, МПа.

Выбор размеров шпонки

На основании результатов расчетов на смятие и срез выбирают большую из полученных длин, затем, исходя из стандартных размеров шпонок, – ближайшую большую стандартную длину. Ширина и высота шпонки выбираются в соответствии с диаметром вала по ГОСТ 23360-78 [3].

Практические аспекты и рекомендации

При выборе материала шпонки рекомендуется использовать сталь, по прочности не уступающую материалу вала. Для редукторов, работающих в условиях знакопеременных нагрузок или вибраций, лучше всего применять шпонки с натягом.

Необходимо обеспечить точное изготовление пазов под шпонки, чтобы избежать концентрации напряжений.

Регулярный осмотр шпоночных соединений в процессе эксплуатации редуктора позволяет своевременно выявлять признаки износа и предотвращать аварийные ситуации.

При расчете соединений, подверженных ударным нагрузкам, необходимо учитывать динамические коэффициенты.

Использование программного обеспечения для инженерных расчетов позволяет автоматизировать процесс проектирования и повысить точность результатов.

Заключение

Расчет шпоночного соединения на прочность является важным этапом проектирования редуктора. Правильный выбор размеров шпонки и материала обеспечивает надежную и долговечную работу механизма. При проведении расчета необходимо учитывать все факторы, влияющие на нагрузку шпонки, а также использовать соответствующие нормативные документы и справочные данные. В случае сложных условий эксплуатации рекомендуется проводить дополнительные исследования и консультации со специалистами. Применение современных методов расчета и программного обеспечения позволяет оптимизировать процесс проектирования и обеспечить высокую надежность шпоночных соединений в редукторах [4].

Библиографический список

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. / под ред. И.Н. Жестковой. 8-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2001. Т. 1. 920 с.
2. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин: учебное пособие для студентов технических специальностей вузов. 8-е изд., перераб. и доп. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 496 с.

3. Решетов Д.Н. Детали машин: учебник для студентов машиностроительных и приборостроительных специальностей вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1989. 496 с.

4. Куклин Н.Г., Куклина Г.С., Житков В.К. Детали машин: учебник. 9-е изд. М.: Курс, 2022. 512 с.

CALCULATION OF THE STRENGTH OF THE GEARBOX DOWELS

A.S. Dvuzhilov, S.S. Tsubera

Abstract. *The calculation of keyway connections in gearboxes is considered. It is noted that these gearboxes act as a key element ensuring the transmission of torque. Various types of dowels used in gearboxes are described, and a strength calculation method is provided, including crumple and shear testing. Recommendations concerning the choice of materials, consideration of operating conditions and manufacturing accuracy are presented.*

Keywords: *gearbox, keyed joint, key, strength calculation, crumpling, shear, torque, shaft, permissible stresses, material, reliability, durability, design.*

Об авторах:

ДВУЖИЛОВ Антон Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов, теории упругости и пластичности, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: anton_in_tver@mail.ru

ЦУБЕРА Станислав Сергеевич – студент, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: stas.tsubera.2004@list.ru

About the authors:

DVUZHILOV Anton Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Resistance of Materials, Theory of Elasticity and Plasticity, Tver State Technical University, Tver. E-mail: anton_in_tver@mail.ru

TSUBERA Stanislav Sergeevich – Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: stas.tsubera.2004@list.ru