

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 ШПОНК 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

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

где σ_{cm} – фактическое напряжение смятия, МПа; A_{cm} – площадь контакта, F – сжимающая сила; $[\sigma_{cm}]$ – 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

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

где τ_{cp} – 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