

УДК 621.24

**А.Н. Прокофьев, д.т.н, проф.****И.Ю. Цуканов, магистрант***Брянский государственный технический университет, Россия*

## **РАСЧЕТ ВИНТОВЫХ ПЕРЕДАЧ СКОЛЬЖЕНИЯ НА ИЗНОС С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ХОДОВЫХ ГАЕК**

*В статье произведен расчет винтовых передач скольжения на износ с учетом технологии изготовления ходовых гаек.*

**Введение.** Назначение винтовых передач - преобразование вращательного движения в поступательное и наоборот. Для этой цели их применяют в домкратах, прессах, металлорежущих станках, прокатных станах, грузоподъемных механизмах, роботах, испытательных стендах и в других устройствах. Все винтовые механизмы, в зависимости от предъявляемых к ним требований, условно делят на кинематические, используемые в малонагруженных приводах, и силовые, работающие при значительных нагрузках на ходовой винт. Винтовые передачи имеют две основные разновидности: винтовые передачи с трением скольжения и винтовые передачи с трением качения. Несмотря на широкое распространение винтовых передач качения и ряд недостатков присущих передачам скольжения, таких как низкий КПД, повышенный износ резьбовых поверхностей, малые допустимые скорости скольжения, в настоящее время передачи скольжения находят применение в механизмах, требующих передачи значительных усилий, таких как тяжелые станки, прессы и т.д.

Основное эксплуатационное свойство, определяющее долговечность винтовой передачи скольжения – износостойкость резьбовых поверхностей ее элементов, то есть винта и гайки. Ходовой винт обычно изготавливается из углеродистой или легированной стали и подвергается закалке до твердости 55..60HRC. Гайка изготавливается из более мягких материалов: оловянных или безоловянных бронз, серого и антифрикционного чугуна, цинковых сплавов и неметаллических материалов. Поэтому витки ходовой гайки будут изнашиваться быстрее витков ходового винта. Следовательно, долговечность винтовой передачи скольжения будет в основном определяться износостойкостью витков резьбы ходовой гайки.

Существует несколько способов расчета на износ винтовой передачи скольжения. Наиболее распространен способ, изложенный в [1], стр. 103. Согласно данному способу определяется давление на

виток резьбы и сравнивается с допускаемым для материалов винтовой пары, при этом нагрузка по виткам считается равномерно распределенной. Чаще всего этот метод расчета применяется в качестве проекторочного при выборе размеров резьбы. Известен также более точный метод расчета, основанный на исследованиях проф. И.В. Крагельского и подробно изложенный в [2], стр. 251. В этом методе расчета искомой величиной является интенсивность изнашивания витков резьбы ходовой гайки. Расчет учитывает следующие факторы: условия эксплуатации (осевая сила, параметры  $\tau_0$  и  $\beta$ , определяемые экспериментально и учитывающие условия смазывания и скорость скольжения); физико-механические параметры материала гайки, геометрические параметры резьбы; шероховатость боковых поверхностей витков резьбы гайки. Основной недостаток данного метода расчета в том, что метод не учитывает параметры точности резьбы и параметры качества поверхностного слоя резьбы, кроме шероховатости. Кроме того при расчете нагрузка принималась равномерно распределенной по виткам гайки, что справедливо только для периода нормального изнашивания, так как в период приработки нагрузка по виткам распределена неравномерно.

Предлагаемый метод расчета основывается на молекулярно-механической теории трения И.В. Крагельского [2], исследованиях Э.В. Рыжова и А.Г. Сулова в области контактной жесткости и ее технологического обеспечения [3], а также на решении Биргера И.А. задачи о распределении усилий по виткам резьбы [4].

Прежде всего, предлагается две зависимости для расчета интенсивности изнашивания резьбы ходовой гайки: для периода приработки и периода нормального изнашивания. Каждый из этих периодов имеет свою характеристику.

В период приработки происходит интенсивное деформирование и изнашивание поверхностных слоев. Витки нагружены неравномерно. В контактном взаимодействии имеют место пластические и упругие деформации. Коэффициент трения представляет совокупность молекулярной и деформационной составляющей. Для периода приработки была получена следующая зависимость для расчета интенсивности изнашивания резьбы (1):

$$h_{np} = \frac{58,8 \cdot p_0^{\frac{7}{6}} \cdot Wz^{\frac{1}{6}} \cdot H_{\max}^{\frac{1}{6}} \cdot Ra^{\frac{1}{6}} \cdot \left( 3\tau_0 + 3\beta \cdot H_{\mu \text{пов}} + \frac{2439 \cdot p_0^{\frac{1}{6}} \cdot H_{\mu \text{пов}}^{\frac{4}{3}} \cdot Wz^{\frac{1}{6}} \cdot H_{\max}^{\frac{1}{6}} \cdot (1-\mu^2)^{\frac{1}{2}} \cdot Ra^{\frac{1}{6}}}{E^{\frac{1}{2}} \cdot Sm^{\frac{1}{2}} \cdot tm} \right)^{\frac{1}{4}}}{N \cdot (\sigma_B - \sigma_{\text{ост}})^t \cdot H_{\mu \text{пов}}^{\frac{7}{6}} \cdot E^{\frac{1}{2}} \cdot Sm \cdot tm} \cdot \left( 1 + \left( \frac{\tau_0}{H_{\mu \text{пов}}} + \beta + \frac{813 \cdot p_0^{\frac{1}{6}} \cdot H_{\mu \text{пов}}^{\frac{1}{3}} \cdot Wz^{\frac{1}{6}} \cdot H_{\max}^{\frac{1}{6}} \cdot (1-\mu^2)^{\frac{1}{2}} \cdot Ra^{\frac{1}{6}}}{E^{\frac{1}{2}} \cdot Sm^{\frac{1}{2}} \cdot tm} \right)^2 \right)^{\frac{1}{4}} \cdot \sqrt{(5,797 \cdot Ra \cdot E + 36,42 \cdot H_{\mu \text{пов}} \cdot Sm \cdot (1-\mu^2))}$$

В период нормального изнашивания происходит стабильный износ витков, усилия по которым вследствие неравномерного износа в период приработки, перераспределились, и нагрузка по виткам гайки распределена равномерно. Для данного периода характерно наличие только упругих деформаций в контакте и отсутствие деформационной составляющей коэффициента трения. Фактическое контактное давление меньше чем первоначальное за счет увеличения фактической площади касания вследствие деформаций и износа неровностей поверхности. Для периода нормального изнашивания получена следующая зависимость (2):

$$I_{hn} = \frac{355 \cdot p_0^{\frac{7}{6}} \cdot Wz^{\frac{1}{6}} \cdot H_{\max}^{\frac{1}{6}} \cdot Ra^{\frac{1}{6}} \cdot (3 \cdot \tau_0 + 3\beta \cdot K_{II} \cdot H_{\mu \text{пов}})^t \cdot (1-\mu^2)^{\frac{1}{2}}}{N \cdot (\sigma_B - \sigma_{\text{ост}})^t \cdot H_{\mu \text{пов}}^{\frac{2}{3}} \cdot E^{\frac{1}{2}} \cdot Sm^{\frac{1}{2}} \cdot tm} \cdot \left( 1 + \left( \frac{\tau_0}{K_{II} \cdot H_{\mu \text{пов}}} + \beta \right)^2 \right)^{\frac{1}{4}}$$

В этих зависимостях:  $p$  - номинальное контактное давление на витке гайки в период приработки. Определяется из решения задачи о нахождении усилий на каждом из витков резьбы [4] по формуле (3):

$$p(z) = q(z) \cdot \frac{S}{f_B},$$

где  $q(z)$  - интенсивность распределения нагрузки по высоте гайки;  $f_B$  - проекция боковой поверхности витка на плоскость, перпендикулярную оси  $z$ ;  $S$  - толщина основания витка;  $p_0$  - номинальное контактное давление на витках резьбы гайки в период нормального изнашивания. Определяется из условия равномерного распределения давлений по виткам;  $N$  - число циклов воздействия, приводящее к разрушению материала;  $\sigma_B$  - предел прочности материала гайки на разрыв;  $t$  - параметр контактно-фрикционной усталости (для металлов ориентировочно равен 4);  $E$  - модуль упругости Юнга материала гайки;  $\mu$  - коэффициент Пуассона;  $\tau_0$  и

$\beta$  - параметры, определяемые экспериментально и учитывающие условия смазывания и скорость скольжения;  $K_H$  - коэффициент, учитывающий уменьшение фактического контактного давления в период нормального изнашивания за счет увеличения фактической площади касания.

Также в данные зависимости входят следующие параметры качества поверхностного слоя резьбы гайки:  $H_{\max}$  - максимальная величина макроотклонения;  $Wz$  - средняя высота волн;  $Ra$  - среднее арифметическое отклонение профиля шероховатости;  $Sm$  - средний шаг неровностей профиля шероховатости;  $tm$  - относительная опорная длина профиля на уровне средней линии;  $H_{\mu\text{пов}}$  - микротвердость боковой поверхности резьбы гайки;  $\sigma_{\text{ост}}$  - величина поверхностных остаточных напряжений.

Таким образом, представленные зависимости позволяют комплексно учесть качество поверхностного слоя при определении интенсивности изнашивания резьбы ходовой гайки. Отметим, что наибольшее влияние на износостойкость резьбы оказывают поверхностная микротвердость, параметры шероховатости, величина и знак остаточных напряжений. Параметры качества поверхностного слоя являются факторами, неразрывно связанными с технологией изготовления резьбы. Подставив в зависимости (1) и (2) значения параметров качества поверхностного слоя, которые возможно получить при различных методах образования резьбы, например, такие данные приводятся в [3], стр. 206, табл. 3.17, можно сравнивать методы образования резьбы в ходовых гайках с точки зрения обеспечения требуемой их долговечности по критерию износа.

К основным методам получения резьбы в ходовых гайках относятся:

1. Нарезание резцом. Этот метод наиболее прост и универсален. Но точность и качество получаемой резьбы – невысокая. Используется для неточных ходовых гаек. На современном токарно-многоцелевом оборудовании при применении прогрессивного инструмента можно добиться высокого качества резьбы.

2. Нарезание метчиком или комплектом метчиков. Этот способ обеспечивает более высокое качество резьбы, чем резцом на универсальном станке. Применяется для мелких и средних ходовых гаек. В основном в мелкосерийном производстве.

3. Обработка ППД (раскатник) или комбинированная обработка (метчик-раскатник). Данный метод обеспечивает не только хорошие геометрические параметры качества поверхностного слоя, но и наилучшие физико-механические свойства (поверхностная микротвердость и остаточные напряжения). Недостаток ППД – сложность раскатки гаек из черных металлов. В основном применяется для небольших ходовых гаек из цветных сплавов. Однако известны конструкции твердосплавных раскатников, позволяющих раскатывать резьбу в стальных гайках. Комбинированная обработка резание-ППД дает возможность нарезать с последующим раскатыванием резьбы в стальных гайках и осуществлять обработку резьбы одним инструментом без предварительного нарезания под раскатывание.

На рис. 1 и 2 приведены результаты сравнительного расчета интенсивности изнашивания витков резьбы 13-и витковой бронзовой ходовой гайки, имеющей метрическую резьбу типоразмером М24, при осевой нагрузке 500Н, для периода приработки и периода нормального изнашивания. Цель данного расчета – сравнение основных методов получения резьбы в ходовых гайках с точки зрения обеспечения их износостойкости. Наибольшую износостойкость витков резьбы, согласно расчету, обеспечивает обработка ППД, особенно в период нормального изнашивания, за счет высокой поверхностной микротвердости получаемой резьбы и создания сжимающих остаточных напряжений, повышающих контактную выносливость трущихся резьбовых поверхностей.

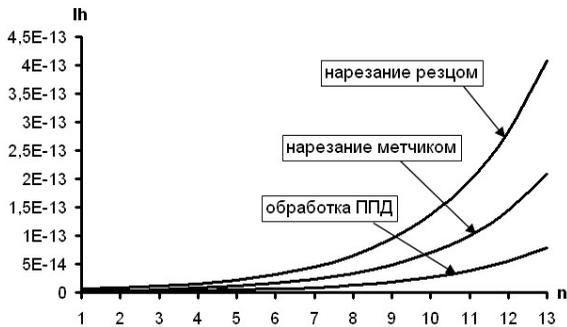


Рис. 1. Сравнительный расчет интенсивности изнашивания витков резьбы, полученной различными методами в период приработки



Рис. 2. Сравнительный расчет интенсивности изнашивания витков резьбы, полученной различными методами в период нормального изнашивания

ЦУКАНОВ И.Ю. – магистрант Брянского государственного технического университета, Россия.

Научные интересы:

– машиностроение.

Тел.: 89191986773.

E-mail:werth32@mail.ru.

Подано 04.09.2009