

НАГРУЗОЧНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЗУБЧАТЫХ МУФТ С УЧЕТОМ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЬЕВ

В.С. Подгуренко, кандидат технических наук
ООО «Ветряной парк «Очаковский», г. Николаев

Даны рекомендации по улучшению работоспособности зубчатых муфт, предназначенных для компенсации расцентровок осей соединяемых валов машин и механизмов, с учетом мероприятий, направленных на повышение их нагрузочной способности.

Ключевые слова: муфта, зубья, погрешность, перекос осей, пятно контакта, усилия, нагрузочная способность.

Постановка проблемы. При изготовлении зубчатых муфт их зубьям присущи накопленные погрешности окружных шагов, которые приводят к неравномерному распределению усилий между зубьями, величины указанных погрешностей определяются точностью изготовления зубьев. Указанная неравномерность носит постоянный характер и не изменяется при вращении зубчатой муфты. В связи с этим, усилие, действующее на максимально нагруженную пару зубьев вследствие ошибок при их изготовлении, складывается поочередно с усилиями, действующими на каждую сопряженную пару зубьев при перекосах осей. Неточность изготовления зубьев, оказывает отрицательное влияние на нагрузочную способность зубчатых муфт, значительно уменьшая ее.

Указанная проблема наиболее ощутима в судовых энергетических установках, где расцентровки осей соединяемых валов вследствие неточности изготовления зубчатых муфт, погрешностей монтажа и влияния эксплуатационных факторов достигают больших величин [1, 2].

Анализ последних исследований и публикаций. В литературе встречаются рекомендации по уменьшению влияния накопленных погрешностей окружных шагов [3 - 5], которые сведены к двум основным моментам. Первое – селекционная сборка зубчатых муфт, при которой отыскиваются

© Подгуренко В.С., 2014

наиболее оптимальные варианты сочетания накопленных погрешностей втулок и обойм. Второе – комплекс мероприятий, направленных на уменьшение ошибок при изготовлении зубьев в процессе их производства. Однако эти рекомендации носят случайный характер, поэтому они не нашли широкого практического применения.

Цель исследований – определить влияние накопленных погрешностей окружных шагов при изготовлении зубьев на работоспособность зубчатых муфт и дать практические рекомендации по увеличению их нагрузочной способности.

Изложение основного материала. В работах [3, 4] показано, что закон изменения накопленных погрешностей окружных шагов является синусоидальным, а величины отклонений шагов зубчатой втулки и обоймы от среднего значения окружного шага главным образом определяются эксцентриситетом основной окружности.

$$\Delta F_{r1} = \frac{F_{r1}}{2} \sin \varphi; \quad \Delta F_{r2} = \frac{F_{r2}}{2} \sin \varphi;$$

где F_{r1} , F_{r2} – наибольшие накопленные погрешности соответственно втулки и обоймы (рис 1, а).

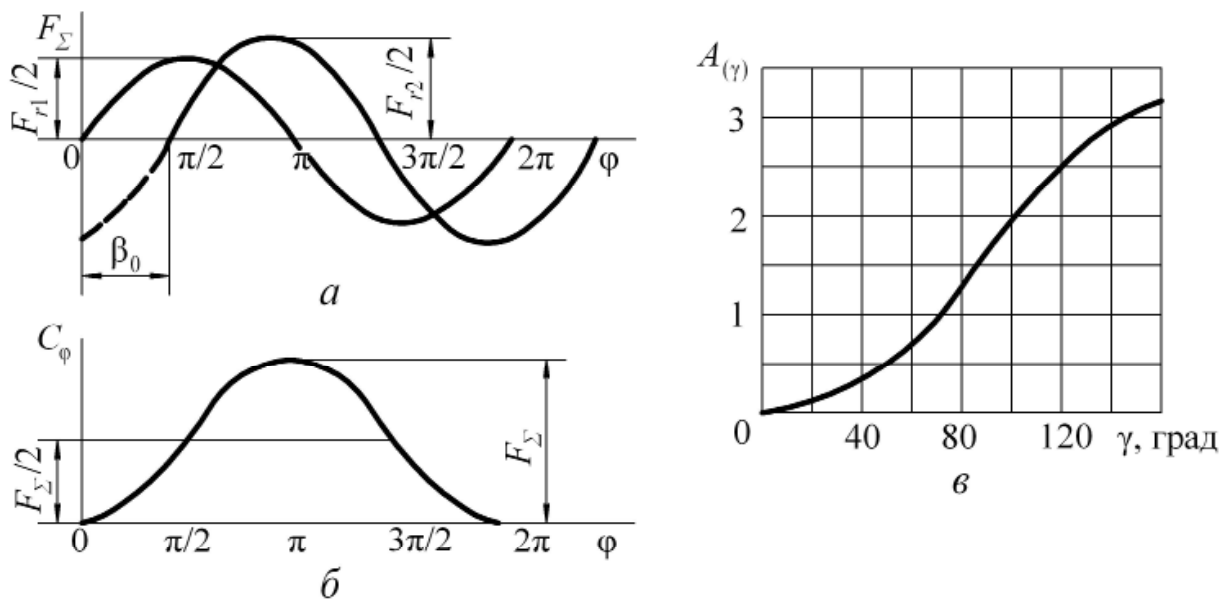


Рис.1. Кривые распределения погрешностей (а), зазоров (б) между зубьями и график для определения функции $A(\gamma)$ (в)

При этом распределение нормальных боковых зазоров между зубьями с учетом величин отклонений шагов втулки и обоймы от их среднего значения будет иметь вид (рис. 1, б)

$$C_{\varphi} = \frac{F_{\Sigma}}{2}(1 - \cos \varphi),$$

при этом

$$F_{\Sigma} = \sqrt{F_{r1}^2 + F_{r2}^2 + 2F_{r1}F_{r2} \cos \beta_0},$$

где β_0 – угол, характеризующий относительное положение втулки и обоймы при сборке зубчатых муфт (рис 1, а).

При $F_{r1} = F_{r2} = F_r$ выражение для суммарной накопленной погрешности окружных шагов представим следующим образом:

$$F_{\Sigma} = 1,4F_r \sqrt{1 + \cos \beta_0}.$$

В зависимости от угла β_0 суммарная накопленная погрешность окружных шагов может принимать различные значения. Поэтому при сборке зубчатых муфт необходимо стремиться к выбору оптимального угла β_0 . Наиболее распространенной величиной угла, как показал анализ накопленных погрешностей, является $\beta_0 = 90^\circ$. Однако окончательные выводы при выборе угла β_0 следует делать на основании данных сборки зубчатых муфт или по результатам проведенных экспериментальных исследований.

Перемещение точки контакта нагруженной пары зубьев вследствие ошибок изготовления по аналогии с перемещениями, обусловленными перекосом и радиальным смещением [5, 6], представим в виде

$$W_{\varphi} = W_p + \frac{F_{\Sigma}}{2}(\cos \varphi - \cos \gamma), \quad (1)$$

где W_p – величина деформации минимально нагруженной пары зубьев при $\varphi = 0$; φ – угол, характеризующий положение

произвольно взятой пары зубьев, отсчитываемый от плоскости, отстоящей от плоскости перекоса на угол $F_{\Sigma}/2 + \alpha_w$ (α_w - угол зацепления), град; g - параметрический угол.

С другой стороны, перемещение точки контакта нагруженной пары зубьев может быть выражено зависимостью

$$W_{\varphi} = \delta_{\Sigma} F_{n\varphi}, \quad (2)$$

где δ_{Σ} - суммарная податливость сопряженной пары зубьев, обусловленная изгибом и сжатием рабочих поверхностей, а также деформациями прилегающих к зубьям участков втулки и обоймы; $F_{n\varphi}$ - нормальное усилие, действующее на рассматриваемую пару зубьев.

Приравняв (1) к (2), получим выражение, которое характеризует распределение усилий между зубьями вследствие ошибок при их изготовлении:

$$F_{n\varphi} = \frac{1}{\delta_{\Sigma}} \left[W_p + \frac{F_{\Sigma}}{2} (\cos \varphi - \cos \gamma) \right]. \quad (3)$$

В уравнении (3) величины W_p и γ являются неизменными, определение которых рассмотрим отдельно.

Положим $W_p = 0$; исходя из $\gamma < p$, запишем выражение для вращательного момента, передаваемого зубчатой муфтой [5, 6]

$$T = 2r \cos \alpha_w \frac{z F_{\Sigma}}{4\pi \delta_{\Sigma}} \int_0^{\gamma} (\cos \varphi - \cos \gamma) d\varphi,$$

откуда

$$F_m = \frac{F_{\Sigma} \cos \alpha_w}{2\pi \delta_{\Sigma}} A_{(\gamma)}, \quad (4)$$

где $F_m = \frac{2T}{mz^2}$ - усилие, передаваемое зубом, $A_{(\gamma)} = \sin \gamma - \gamma \cos \gamma$.

Из (4) запишем выражение для функции параметрического угла:

$$A_{(\gamma)} = \frac{2\pi F_m \delta_{\Sigma}}{F_{\Sigma} \cos \alpha_w} . \quad (5)$$

Параметрический угол γ следует определить по рис.1, в при вычисленном значении функции $A_{(\gamma)}$ по (5).

Если в выражение для крутящего момента T ввести W_p , считая функцию $A_{(\gamma)}$ известной, то после определения интегралов и соответствующих преобразований

$$W_p = \frac{\pi F_m \delta_{\Sigma}}{\gamma \cos \alpha_w} - \frac{F_{\Sigma}}{2\gamma} A_{(\gamma)} . \quad (6)$$

После подстановки в (3) выражения (6) найдем в окончательном виде зависимость распределения усилий между зубьями:

$$F_{n\phi} = \frac{\pi F_m}{\gamma \cos \alpha_w} - \frac{F_{\Sigma}}{2\delta_{\Sigma}} \left(\frac{\sin \gamma}{\gamma} - \cos \phi \right) . \quad (7)$$

Выражение (7) характерно для случая, когда часть зубьев

вышла из зацепления, что справедливо при $F_m < \frac{F_{\Sigma} \cos \alpha_w}{2\delta_{\Sigma}}$

Если F_m больше правой части приведенного неравенства, то следует в (7) принять $\gamma = \pi$ (все зубья находятся в зацеплении). Тогда

$$F_{n\phi} = \frac{F_m}{\cos \alpha_w} + \frac{F_{\Sigma}}{2\delta_{\Sigma}} \cos \phi . \quad (8)$$

Анализ расчетных данных с использованием зависимостей (7) и (8) показал, что при $\beta_0 = 90^\circ$ и $F_r = 0,05$ мм коэффициенты перегрузки зубьев составляют от 1,8 до 2,3 раза, что умень-

шает нагрузочную способность зубчатых муфт в среднем примерно в 2 раза.

Таким образом, ошибки при изготовлении зубьев вызывают резкое снижение нагрузочной способности зубчатых муфт, для повышения которой необходимо более тщательно осуществлять сборку муфт и стремиться к увеличению податливости зубчатого соединения при проектировании. При снижении величины суммарной накопленной погрешности окружных шагов вдвое, усилия, действующие на максимально нагруженную пару зубьев, уменьшаются примерно на 30%.

Влияние накопленных погрешностей окружных шагов на нагрузочную способность зубчатых муфт значительно при отсутствии углов перекоса осей соединяемых агрегатов или при небольших значениях углов, характеризующих число нагруженных зубьев. Однако, начиная с угла перекоса $5 \cdot 10^{-3}$ рад, влияние накопленных погрешностей окружных шагов становится менее заметным и при значении угла перекоса $10 \cdot 10^{-3}$ рад оно практически не ощутимо.

Выводы:

1. Установлено, что накопленные погрешности окружных шагов существенно влияют на нагрузочную способность зубчатых муфт, снижая ее в 1,5-2,5 раза, а при неблагоприятном сочетании накопленных погрешностей окружных шагов втулок и обойм – до трех раз.

2. Одним из способов повышения нагрузочной способности зубчатых муфт при сборке зубчатых муфт перед проверкой зубьев на пятно контакта необходимо добиваться оптимального соотношения накопленных погрешностей окружных шагов втулок и обойм, которое достигается в процессе сборки муфт путем использования кривых накопленных погрешностей.

3. Тщательная сборка зубчатых муфт и увеличение податливости зубчатого соединения позволяет повысить нагрузочную способность зубчатых муфт при угле перекоса осей 10–3 рад, без учета радиального смещения, в 1,13 раза, а при увеличении угла перекоса осей до $5 \cdot 10^{-3}$ рад в 1,05 раза.

Список использованной литературы:

1. Айрапетов Э.Л. Зубчатые муфты [Текст] / Э.Л. Айрапетов, О.И. Косарев — М. : Наука, 1982. — 128с.
2. Верховский А.Н. Определение напряжений в опасных сечениях деталей сложной формы [Текст] / А.Н. Верховский, В.П. Андронов — М. : Машгиз, 1958. — 147с.
3. Куликов С.И. О распределении окружного усилия между шлицами в шлицевом соединении [Текст] / С.И. Куликов // Сб. науч. тр. Уфимск. авиац. ин-та. — Уфа, 1956. — Вып.2. — С.63 — 73.
4. Попов А.П. Распределение нагрузки между бочкообразными зубьями зубчатых муфт при перекосе осей соединяемых судовых агрегатов [Текст] / А.П. Попов, П.А. Тонкошкур, В.С. Подгуренко. — В кн. : Судостроение и морские сооружения : респ. межведомств. науч. — техн. сб. — Харьков, 1973. — Вып.21. — С.91 — 99.
5. Поляков В.С. Нагрузочная способность зубчатых муфт с бочкообразными зубьями [Текст] / В.С. Поляков, В.Н. Коськин. — В кн. : Конструкция и расчет машин. — Л. : ЛПИ, 1966 — С.11 — 25.
6. Попов А.П. Зубчатые муфты в судовых агрегатах [Текст] / А.П. Попов — Л. : Судостроение, 1985. — 240с.

*В.С. Підгуренко. **Навантажувальна здатність зубчастих муфт з урахуванням похибок виготовлення зубів.***

Дано рекомендації з поліпшення працездатності зубчастих муфт, призначених для компенсації розцентровок осей з'єднувальних валів машин і механізмів, з урахуванням заходів, спрямованих на підвищення їх навантажувальної здатності.

*V. Podgurenko. **Loading capacity gear of couplings accounting the manufacturing errors of teeth.***

Recommendations as for the improvement of the gear couplings efficiency were designed to compensate the middle centre axes of connecting shaft machines and mechanisms, taking into account measures to increase their load capacity.