

КОЭФФИЦИЕНТ ДИНАМИЧНОСТИ ДЛЯ СКОРОСТНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ

Суслин А.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет

DYNAMICS COEFFICIENT FOR HIGH-SPEED GEARING

Suslin A.V. A number of methods to increase the durability of high-speed gearings and dynamic load of toothed gearings are considered.

Для повышения экономичности авиационных двигателей создаются турбовинтовые и винтовентиляторные газотурбинные двигатели, в которых ответственным элементом являются редуктор. Авиационный привод стал находить применение в энергетике, в транспорте, где также широко стали использоваться зубчатые передачи. Для увеличения мощности двигателя частота вращения стала расти, что привело к росту окружных скоростей в зубчатом зацеплении редуктора. С целью снижения веса конструкции редуктора в европейских странах и в США широко используются цилиндрические косозубые передачи, а в России до 90% применяемых в авиации цилиндрических передач – прямозубые. Предлагается провести это сравнение по коэффициенту динамичности, который входит в коэффициент нагрузки. Коэффициент динамичности учитывает рост удельной нагрузки на паре зубьев, находящихся в зацеплении при вращении колес, по сравнению с их статическим положением. Он определяется по следующей зависимости:

$$K_V = \frac{W_q + W_v}{W_q} = 1 + V, \quad (1)$$

где W_q - удельная статическая нагрузка,

W_v - удельная динамическая нагрузка.

Если рассмотреть рекомендации по выбору коэффициента динамичности, то они заканчиваются до значений окружных скоростей в зацеплении порядка 20...30 м/с. Если окружные скорости превосходят эти значения, то рекомендуются принимать предельные значения.

Удельные динамические нагрузки определяют по стандартным методикам при расчете на контактную и изгибную прочность зубьев:

$$W_{HV} = \delta_H \cdot g_0 \cdot V \cdot \sqrt{\frac{a_w}{u}} \leq W_{\max}$$

$$W_{HF} = \delta_F \cdot g_0 \cdot V \cdot \sqrt{\frac{a_w}{u}} \leq W_{\max},$$

где V - окружная скорость, м/с; a_w - межосевое расстояние, мм; δ - коэффициент, учитывающий вид зуба и твердость материала колес; g_0 - коэффициент, учитывающий погрешность зацепления по шагу зубьев.

Максимальную динамическую нагрузку можно определить по зависимости

$$W_{\max} = c_g \cdot (\Delta_{Bp} - \Delta_k), \quad (2)$$

где Δ_{Bp} - вероятная разность шагов в зацеплении шестерни и колеса и определяется обычно

$$\Delta_{Bp} = \sqrt{f_{t_1}^2 + f_{t_2}^2},$$

где f_t - предельное отклонение окружных шагов, Δ_k - ошибка, компенсируемая масля-

ным слоем (при $\Delta_{Bp} \leq 0,010$ мм $\Delta_k = \frac{\Delta_{Bp}}{2}$, а

при $\Delta_{Bp} \geq 0,010$ мм $\Delta_k = 0,005$ мм).

Из анализа формул видно, что чем меньше жесткость зацепления, меньше погрешность окружных шагов, тем меньше динамическая добавка V_{\max} и тем при меньших скоростях достигается максимальный коэффициент динамичности. Удельная жесткость косозубых колес больше удельной жесткости прямозубых. При одинаковой степени точности, при одних и тех же размерах передачи и при одинаковой нагрузке при высоких скоростях коэффициент динамичности выше у косозубых колес, чем у прямозубых.

В скоростных авиационных передачах применяют 5 или 6 степень точности. Для обеспечения этой точности обработки по

профилю и шагу поверхность зубьев обязательно шлифуется. Для снятия положительных напряжений на поверхности зуба после шлифования ее подвергают обязательному пластическому упрочнению (дробеструйный наклон). Перспективна технологическая операция виброшлифование на специальных виброустановках. Все технологические операции позволяют снизить высоту микронеровностей поверхности до $R_a \approx 0,2$ мкм, повысить контактную и изгибную прочность, противозадирную стойкость и сопротивление изнашиванию.

За счет повышения коэффициента перекрытия в косозубых передачах за счет увеличения длины контактных линий жесткость в зацеплении косозубой передачи будет выше, чем в прямозубой. Тогда при одинаковой степени точности расчетная динамическая добавка при высоких скоростях будет больше. Но при этом окружная скорость, когда колеса достигают максимальной динамической добавки будет больше у косозубых цилиндрических передач.

Перспективный путь снижения коэффициента динамичности – это уменьшение жесткости зацепления за счет применения «высоких» зубьев, то есть применения колес с коэффициентом торцового перекрытия больше двух. Технологический прием – поднутрение зубьев для выхода шлифовального круга также снизит жесткость зацепления. Все это можно оценить, применяя информационные технологии для расчета на прочность. Также используя эти методы можно дать рекомендации по применению степени точности, для реализации коэффициента торцового перекрытия больше двух.

Еще можно отметить эффект снижения коэффициента динамичности до единицы при высоких скоростях, который наблюдается при испытаниях. Это можно объяснить тем, что время в контакте зуба меньше времени деформации. И при достаточном нагружении, при высокой скорости, при 5 или 6 степени точности изготовления коэффициент динамичности можно принимать равным единице.

УДК 531.7:681.5

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛОПАТОК ТУРБИН

Алексенцев Е.И.¹, Шаврин П.А.², Федосеев О.Б.²

¹Самарский государственный аэрокосмический университет

²Тольяттинский государственный университет

AUTOMATED SYSTEM FOR MEASURING GEOMETRIC PARAMETERS OF TURBINE BLADES

Aleksentsev E.I., Shavri P.A., Fedoseev O.B. The problem of developing the automated system for measuring geometric parameters and surface quality of turbine blades is considered. Two approaches are in the basis of the concept. The first one is a deep modernization of existing POMKL by its equipment with differential sensors and control and identification system. For further processing the signals are integrated into real-time environment of Matlab/Simulink. The high resolution and sensitivity in combination with the relative simplicity of implementation give a conceptual framework for creating high-speed multi-channel measurement system. Alternative solution provides an optical system for monitoring the processing quality of curved surfaces, designed on the principle: a movable light source - a satellite receiver. Both the systems in conjunction with the devices for measuring roughness such as portable profilometer can be mutually reinforcing components of a unique automated measurement system for evaluation the geometric parameters and quality of turbine blades.

Как известно, лопатки турбин компрессорных установок и газотурбинных двигателей отличаются достаточно сложной геометрией с изменяющимися параметрами

кривизны и кручения вдоль поверхности. При этом неточности изготовления, приводящие к отклонениям основных параметров от расчетных величин, вызывают появление