

КОСОНАГРУЖЕННЫЙ ИЗГИБ ДИСКОВ И ДИНАМИЧЕСКАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ

д.т.н. ¹Антонюк В.Е., д.т.н. ²Ярошевич Е. П.

¹ ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси», Минск
² Белостокская политехника, Белосток, Польша

Требования к современным конструкциям машин по снижению металлоемкости и повышению долговечности связаны с необходимостью изготовления деталей со стабильной геометрической формой, для чего целесообразно использование процесса динамической стабилизации. Динамическая стабилизация основана на том, что при нагружении детали знакопеременной циклической нагрузкой происходит стабилизация геометрической формы детали относительно оси или плоскости приложения знакопеременной нагрузки.

Детали типа дисков широко используются в современных конструкциях машин. К ним относятся как относительно простые фрикционные диски, так и более сложные диски турбомашин. Однако все диски имеют одну общую особенность, связанную с тем, что они обладают малой относительной жесткостью, и при их изготовлении могут возникать остаточные напряжения. При сохранении остаточных напряжений в окончательно изготовленном диске при вследствие как релаксации, так и от эксплуатационных нагрузок происходит перераспределение и уменьшение остаточных напряжений, приводящих к изменению геометрических параметров дисков вследствие малой относительной жесткости.

Диски турбомашин работают при 12-15 тыс. оборотов в минуту и в них возникают напряжения 2500 ... 4000 МПа, которые приближаются к пределу пропорциональности материала диска [1]. При таких напряжениях будет происходить снижение остаточных напряжений, что может приводить к деформациям диска и изменению характера колебаний диска [2].

Что бы избежать возникновения деформаций диска в процессе работы, нужно снять или значительно уменьшить остаточные напряжения в диске. Лучше всего для этого подходит динамическая стабилизация, но для этого нужно максимально возможный объем диска нагружать знакопеременной нагрузкой уровня не менее предела пропорциональности [3].

Принципиальная схема рассматриваемого способа динамической стабилизации деталей типа дисков представлена рисунке 1.

По этой схеме наружный диаметр диска жестко закрепляется, а центральная часть диска поворачивается на угол θ , в результате чего в полотно диска возникают две симметричные зоны нагружения A и B . Затем центральная часть диска приводится во вращение с уменьшением угла θ от максимального до нуля. Две симметричные зоны нагружения A и B совершают круговое движение по полотну диска. В результате в полотне диска возникают знакопеременные симметричные напряжения с изменяющимся значением в течение цикла динамической стабилизации. Поворот центральной части диска относительно оси позволяет создать напряжения в полотне диска, а вращение – сделать эти напряжения циклическими.

Деформируемую часть диска можно представить как круглую пластину с наружным радиусом R_1 , внутренним радиусом R_2 и переменной толщиной с жестким закреплением по наружному контуру и по внутреннему отверстию.

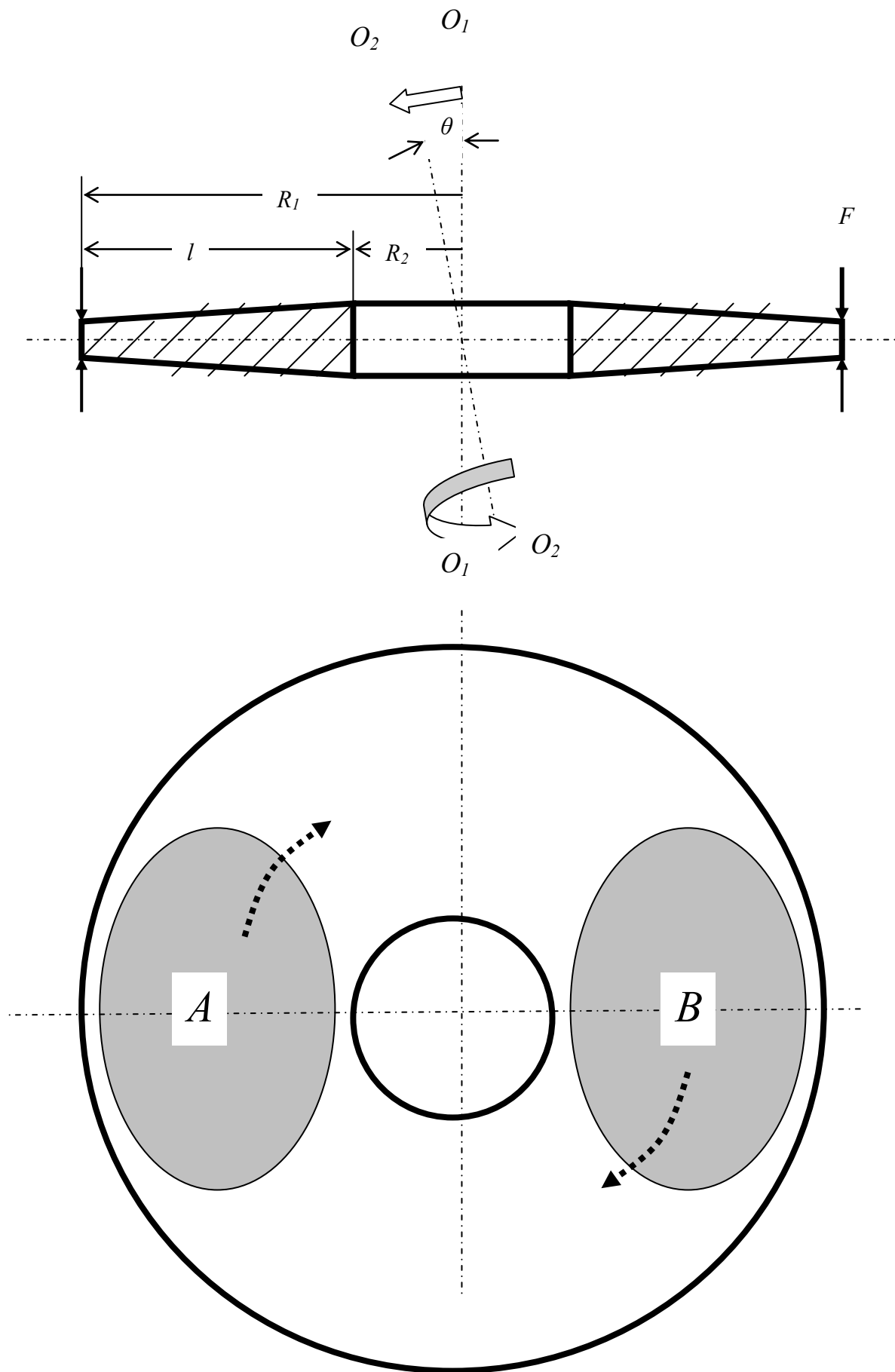


Рисунок 1 - Схема динамической стабилизации дисков переменного сечения с использованием косонагруженного изгиба

Дифференциальное уравнение упругой поверхности круглой пластины в полярных координатах представляется в виде [4]

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial \alpha^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial W}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial \alpha^2} \right) = \frac{p}{D} \quad , \quad (1)$$

где $W = W(r, \alpha)$ – прогиб срединной плоскости пластины;

r, α – полярные координаты, определяющие положение расчетной точки на срединной плоскости пластины;

p – нормальное давление на поверхности пластины;

D – цилиндрическая жесткость пластины.

Расчетная схема косоугруженного изгиба диска представлена на рисунке 2.

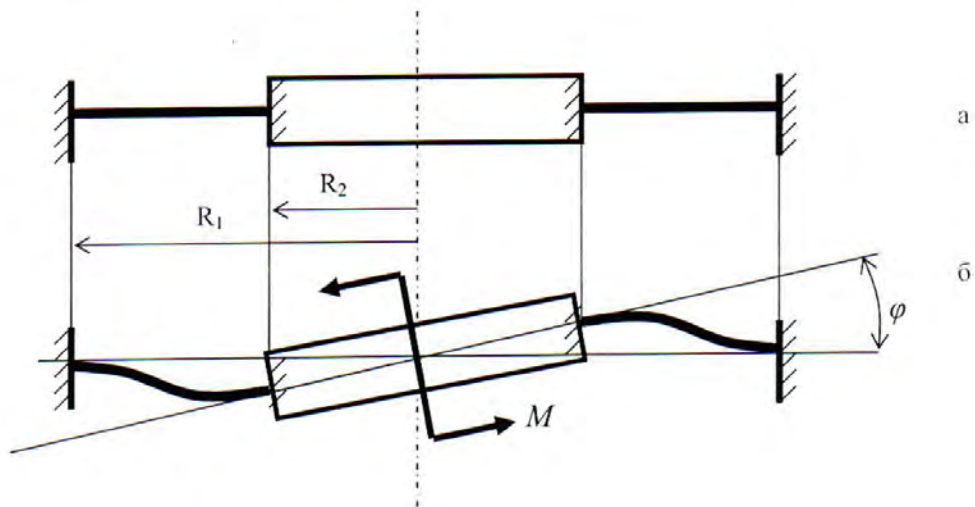


Рисунок 2 - Расчетная схема косоугруженного изгиба диска:
а - исходное состояние, б - деформированное состояние

В исходном положении (рисунок 2а) деформируемая часть диска рассматривается как круглая пластина переменной толщины, жестко заделанная по наружному краю и имеющая в середине жесткий центр, к которому прикладывается изгибающий момент M (рисунок 2б).

Значение угла поворота для достижения изгибающего момента M равно [5]

$$\varphi = \frac{M \left[(a^2 + 1) \cdot \ln a - (a^2 - 1) \right]}{4\pi \cdot D \cdot (a^2 + 1)} \quad , \quad (2)$$

где $a = \frac{R_1}{R_2}$.

В результате анализа установлено, что наибольший изгибающий момент возникает в точке пластины с координатами $r = R_2$

$$M_{изг} = \frac{M(a^2 - 1)}{2\pi \cdot R_2 \cdot (a^2 + 1)} \quad . \quad (3)$$

Максимальные напряжения в диске возникают в сечении максимального угла поворота и расчет напряженного состояния производится для этого сечения. На противоположной стороне полотна будут возникать такие же напряжения, но противоположного знака. Таким образом, за один оборот оси диска напряжения на одной стороне полотна меняют свое направление на противоположное на противоположной стороне полотна и дважды становятся равными нулю.

Предлагаемая схема косоагруженного изгиба может быть использована для реализации процесса динамической стабилизации применительно к дискам с переменным сечением.

РЕЗЮМЕ

Дано обоснование возможности использования схемы косоагруженного изгиба диска при использовании динамической стабилизации для дисков с переменным сечением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биргер, И.А. Расчеты на прочность деталей машин: Справочное пособие / И.А. Биргер, Б.Ф.Шорр, Р.М. Шнейдерович / под ред. И.А.Биргера – М.: Машиностроение, 1966. – с.616.
2. Jaroszewicz J. The method of partial discretization in free vibration problems of circular plates with variable distribution of parameters / J.Jaroszewicz, L. Zoryj // International Applied Mechanics, 2006, 42, 3, pp.364-373.
3. Антонюк, В.Е. Динамическая стабилизация геометрических параметров деталей знакопеременным нагружением / В.Е.Антонюк . –Минск: УП «Технопринт», 2004. – 184 с.
4. Амензаде, Ю.А. Теория упругости /Ю.А.Амензаде. – М.: Высшая школа, 1976. – 272 с.
5. Антонюк, В.Е. Исследование напряженного состояния дисков при косоагруженном изгибе / В.Е. Антонюк, А.М. Гоман // Материалы, технологии, инструменты. –2005.– Т.10. – № 2. – С.28–33.

E-mail: bats@ncpmm.bas-net.by
j.jaroszewicz@pb.edu.pl

Поступила в редакцию 24.11.2013