

и Δz определяется α_w и из уравнения (6) z_1 , затем по формуле (2) находится и уточняется шаг цепи, а из равенства (1) – модуль зацепления. Ширина венца сателлита b_w определяется в соответствии с графиком зависимости $\bar{b} = f(z_g, \Delta z)$.

Библиографические ссылки

1. Пат. № 2399813, РФ, МПК F16H 1/32. Планетарная передача / Ф. И. Плеханов, А. В. Овсянников. – Оpubл. 20.09.2010, бюл. № 26.
2. Детали машин и основы конструирования / под ред. М. Н. Ерохина. – М.: КолосС, 2005. – 462 с.
3. Плеханов Ф. И., Овсянников А. В. Исследование нагрузочной способности планетарной передачи с внутренним зацеплением колес // Вестник машиностроения. – 2011. – № 9. – С. 3–5.

F. I. Plekhanov, DSc in Engineering, Professor, Glazov Institute of Engineering and Economics (branch) of Kalashnikov Izhevsk State Technical University

A. V. Ovsyannikov, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Strength Calculation of K-H-V Planetary Gearing with Chain Mechanism for Torque Transfer from Satellite

The analytical method of the tooth-chain planetary gearing strength calculation is presented based on the balanced strength condition of the gearing and the chain mechanism for torque transfer from the satellite.

Key words: planetary gearing, internal engagement, chain mechanism, strength, multiple contact.

УДК 621.521

Д. С. Люпа, кандидат технических наук, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова
Т. Н. Иванова, кандидат технических наук, Сарапульский политехнический институт (филиал)
 Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова
О. С. Люпа, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВАКУУМНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Предложена методика расчета вакуумного приспособления для крепления тонких плоских деталей толщиной до 1,5 мм при шлифовании, что значительно расширяет технологические возможности приспособлений данной группы. Авторами получены аналитические зависимости, определяющие величину и характер деформации детали в зависимости от схемы крепления и жесткости детали.

Ключевые слова: вакуумное приспособление, плоские детали, методика расчета, крепление.

Детали, имеющие форму пластин, при шлифовании обычно закрепляют на столе станка при помощи электромагнитных приспособлений. Однако такое крепление возможно только в том случае, когда деталь изготовлена из металла, обладающего ферромагнитными свойствами. Если обрабатываемые металлы и другие материалы имеют парамагнитные или диамагнитные свойства, то при условии, что они имеют достаточно большую поверхность и характеризуются отсутствием сквозных отверстий, вполне возможно использование вакуумных приспособлений.

Конструкция вакуумного приспособления позволяет осуществлять надежное крепление пластины толщиной 0,3–1,5 мм с диапазоном диаметров 30–120 мм, высокую точность механической обработки за счет рационального расположения опорных поверхностей и увеличенной активной вакуумной поверхности. Для уменьшения прогиба тонкой пластины деталь кладется на концентрически расположенные опорные выступы. Чтобы избежать перемещения в плоскости крепления, деталь фиксируется

с помощью цилиндрического штифта или, при отсутствии отверстия, выступающим на несколько меньшую величину, чем толщина пластины, внешним ободком. Для создания вакуума у внешнего и внутреннего опорных выступов ставят резиновые уплотнительные прокладки, отсасывающий канал располагают около внутреннего опорного выступа.

Особенность работы вакуумного приспособления обусловлена использованием резиновой прокладки для уплотнения разреженной камеры приспособления. Резиновая прокладка размещается в канавке корпуса приспособления. От правильного выбора основных конструктивных параметров приспособления, таких как форма сечения и размеры прокладки, марка резины, профиль и габариты канавки под уплотнение, зависят его основные эксплуатационные характеристики [1].

В процессе обработки пластина не должна деформироваться – прогибаться от избыточного давления воздуха, условий крепления и давления, создаваемого шлифовальным инструментом. Наибольший прогиб детали W_{\max} между опорными выступами не

должен превышать 1/5–1/10 допуска на толщину пластины h . Радиусы опорных выступов, определяющие расстояние между ними, зависят от избыточного давления воздуха, действующего на пластину, от ее толщины, модуля упругости материала пластины и давления, создаваемого шлифовальным кругом. Поэтому расчет вакуумного приспособления для пластины круглой формы, имеющей внешний $2R$ и внутренний $2r$ диаметры, сводится к определению радиуса опорных выступов при условии, чтобы максимальный прогиб пластины не превышал заданной величины.

Радиусы опорных выступов находятся решением дифференциального уравнения теории упругости, определяющего величину прогиба тонкой круглой пластины, несущей осесимметричную нагрузку [2]:

$$\frac{d^2\varphi}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\varphi}{dr} - \frac{\varphi}{r^2} = -\frac{P}{D}, \quad (1)$$

где P – нагрузка на единицу площади; $D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$ –

цилиндрическая жесткость; E – модуль упругости; μ – коэффициент Пуассона; h – толщина пластины; r – текущий радиус пластины; φ – угол между нормалью к середине поверхности пластины и центральной осью.

Между величиной угла φ , радиальным M_r и тангенциальным M_φ изгибающим моментами существует следующая зависимость:

$$\begin{aligned} M_r &= D \left(\frac{d\varphi}{dr} + \mu \frac{\varphi}{r} \right), \\ M_\varphi &= D \left(\frac{\varphi}{r} + \mu \frac{d\varphi}{dr} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

$$\varphi = r \frac{M_\varphi - \mu M_r}{D(1-\mu^2)} = \frac{12r}{Eh^3} \times (M_\varphi - \mu M_r).$$

Общим решением дифференциального уравнения (1) является функция

$$\varphi = C_1 r + C_2 \frac{1}{r} - \frac{1}{Dr} \int_{r_0}^r r \left[\int_{r_0}^r P(\rho) d\rho \right] dr, \quad (3)$$

где r_0 – внутренний радиус пластины,

Тогда прогиб пластины W связан с величиной угла φ соотношением

$$W = C_3 - \int_{r_0}^r \varphi dr. \quad (4)$$

Введя функцию $\Phi(r)$ и определив ее производную

$$\Phi'(r) = \frac{1}{Dr} \int_{r_0}^r r \left[\int_{r_0}^r P(\rho) d\rho \right] dr, \quad (5)$$

получим:

$$\varphi = C_1 r + C_2 \frac{1}{r} - \Phi'(r), \quad (6)$$

$$M_r = D \left[(1+\mu)C_1 - (1-\mu)C_2 \frac{1}{r^2} - (\Phi''(r) - \frac{\mu}{r} \Phi'(r)) \right], \quad (7)$$

$$M_\varphi = D \left[(1+\mu)C_1 + (1-\mu)C_2 \frac{1}{r^2} - \frac{1}{r} \Phi'(r) - \mu \Phi''(r) \right], \quad (8)$$

$$W = C_3 - C_1 \frac{r^2}{2} - C_2 \ln \frac{r}{r_0} - \Phi(r). \quad (9)$$

Функция $\Phi''(r)$ находится как производная от интеграла по параметру r от $\Phi'(r)$. Функции $\Phi'(r)$, $\Phi(r)$ находятся интегрированием по частям и зависят от интенсивности нагрузки, действующей на пластину.

Методика расчета приспособления для крепления круглых пластин включает в себя определение радиусов опорных поверхностей по заданной величине прогиба пластины или определение максимального прогиба при известных радиусах при трех граничных условиях с условием нагружения пластины постоянной равномерно распределенной нагрузкой P .

1. Часть пластины закреплена по внешнему контуру, внутренний контур опирается на точечную опору. Внешний радиус пластины r_1 , внутренний – r_0 (рис. 1). Граничные условия примут вид

$$\begin{aligned} W = 0, M_r = 0 & \text{ при } r = r_0, \\ W = 0, \varphi = 0 & \text{ при } r = r_1. \end{aligned} \quad (10)$$

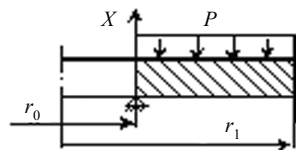


Рис. 1. Расчетная схема нагружения пластины по внешнему контуру, внутренний опирается на точечную опору

Решение (9) с условиями (10) имеет вид

$$\begin{aligned} W(r) = C_3 - C_1 \frac{r^2}{2} - C_2 \ln \frac{r}{r_0} - \\ - \frac{Xr^2}{8\pi D} S\left(\frac{r}{r_0}\right) + \frac{Pr^4}{64D} R\left(\frac{r}{r_0}\right), \end{aligned} \quad (11)$$

где C_1, C_2, C_3 – коэффициенты, определяемые из выражений (6, 7, 8); X – сила реакции; $S\left(\frac{r}{r_0}\right), R\left(\frac{r}{r_0}\right)$ – табулированные функции.

2. Часть пластины закреплена как по внешнему, так и по внутреннему контуру (рис. 2). Граничные условия:

$$\begin{aligned} W = 0, \varphi = 0 & \text{ при } r = r_1, \\ W = 0, \varphi = 0 & \text{ при } r = r_2. \end{aligned} \quad (12)$$

Решение задачи примет вид:

$$W = C_3 - C_1 \frac{r^2}{2} - C_2 \ln \frac{r}{r_1} - \frac{Xr^2}{8\pi D} S\left(\frac{r}{r_1}\right) + \frac{Pr^4}{64D} R\left(\frac{r}{r_1}\right). \quad (13)$$

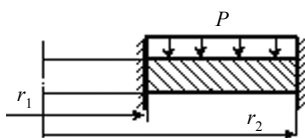


Рис. 2. Расчетная схема нагружения пластины по внешнему и по внутреннему контуру

3. Часть пластины закреплена по внутреннему контуру, внешний контур опирается на точечную опору (рис. 3). Граничные условия:

$$\begin{aligned} W = 0, \quad \varphi = 0 \quad \text{при } r = r_2, \\ W = 0, \quad M_r = 0 \quad \text{при } r = R. \end{aligned} \quad (14)$$

Тогда

$$\begin{aligned} W = C_3 - C_1 \frac{r^2}{2} - C_2 \cdot \ln \frac{r}{r_2} - \\ - \frac{Xr^2}{8\pi D} S\left(\frac{r}{r_2}\right) + \frac{Pr^4}{64D} R\left(\frac{r}{r_2}\right). \end{aligned} \quad (15)$$

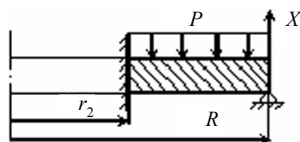


Рис. 3. Расчетная схема нагружения пластины по внутреннему контуру, внешний контур опирается на точечную опору

Расчет ожидаемой точности обработки пластин в зависимости от величины ее прогиба под действи-

ем сил резания и крепления рассмотрим для вакуумного приспособления со следующими геометрическими параметрами опорных поверхностей с внешним диаметром $2R = 10$ см, внутренним – $2r = 3,2$ см, толщиной $h = 0,1$ см. Нагрузка $Q = 1,4 \cdot 10^5$ Н/м², $E = 6 \cdot 10^{11}$ Н/м², $\mu = 0,3$.

Из конструктивных особенностей приспособления были выбраны радиусы опорных выступов $r_0 = 1,6$ см, $r_1 = 3,0$ см, $r_2 = 4,0$ см, $R = 5,0$ см. Тогда прогиб пластины в середине каждого из интервалов по выражениям (11), (13), (15): на интервале (r_0, r_1) прогиб пластины составит $W = 9 \cdot 10^{-5}$ см; на интервале (r_1, r_2) $W = 1 \cdot 10^{-5}$ см; на интервале (r_2, R) прогиб $W = 3 \cdot 10^{-5}$ см.

В результате выполненных расчетов получены математические зависимости, позволяющие рассчитать радиусы опорных выступов (или расстояние между ними) в зависимости от величины избыточного внешнего давления, действующего на пластину, ее толщины, модуля упругости материала и от нормального давления шлифовального круга. Данные зависимости позволяют определить величину и характер деформации детали в зависимости от схемы крепления и жесткости детали.

Конструкция данного приспособления прошла производственные испытания и показала высокую надежность в работе.

Библиографические ссылки

1. Люба С. И., Люба Д. С., Иванова Т. Н. Основы конструирования вакуумных приспособлений // Вестник ИжГТУ. – 2010. – № 1(45). – С. 22–25.
2. Машиностроение. Энциклопедия. Т. 1–3 / под ред. К. В. Фролова и др. – М. : Машиностроение, 1994.

D. S. Lyupa, PhD in Engineering, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
T. N. Ivanova, PhD in Engineering, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
O. S. Lyupa, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Calculation of Vacuum Devices

The method of designing the vacuum device is offered. These vacuum devices are used to fasten thin flat work-pieces with a thickness up to 1.5 mm in grinding that considerably expands technological possibilities of devices within the given group. The authors obtained analytical dependencies that define the value and character of the work-piece strain depending on the fastening scheme and the work-piece rigidity.

Key words: vacuum device, flat parts, calculation method, fastening.