

УДК 621.9.048.6.04

Г. В. Серга, д-р техн. наук, проф., А. Ю. Марченко, канд. техн. наук, доцент
Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина,
Россия, 350044, г. Краснодар, ул. Калинина 13

ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Для повышения производительности вибрационной обработки деталей в машиностроительном производстве и расширения технологических возможностей предлагается изготавливать рабочие органы станков для отделочно-зачистной и упрочняющей обработки, которые будут придавать обрабатываемым деталям и обрабатываемым средам движение с амплитудой 10-1000 мм и более. Создана классификация винтовых роторов, на основе общей идеи винтовых роторов, обеспечивающая возможность создания и поиска неизвестных конструкций винтовых роторов. Предлагается станок для отделочно-зачистной и упрочняющей обработки деталей в машиностроительном производстве с рабочим органом в виде винтовых роторов, а также методика расчета его привода.

Ключевые слова: винтовой ротор, амплитуда, октаэдр, несимметричная загрузка, расчет привода.

G. V. Serga, A. Y. Marchenko

PROGRESSIVE TECHNOLOGIES OF VIBRATION PROCESSING OF PARTS IN MACHINE-BUILDING

To increase the productivity of vibratory machining of parts in engineering production and to expand technological capabilities, it is proposed to make the working parts of machine tools for finishing-peeling and hardening processing, which will impart motion with an amplitude of 10-1000 mm or more to the parts to be machined and to process media. The classification of screw rotors is based on the general idea of screw rotors, which makes it possible to create and search for unknown designs of screw rotors. The machine is proposed for finishing-cleaning and hardening machining of parts in the machine-building industry with a working organ in the form of screw rotors, as well as the method of calculating its drive.

Keywords: screw rotor, amplitude, octahedron, unbalanced loading, drive calculation.

1. Введение

В настоящее время вибрационная обработка деталей в машиностроении, в частности отделочно-зачистная и упрочняющая обработка, выполняется при воздействии на обрабатываемые детали колебаний однообразных форм с амплитудой не более 4-8 мм. Поэтому нами предлагается, на базе идеологии академика Кошкина Л. Н., технология и комплект оборудования, позволяющие осуществлять колебания обрабатываемых масс загрузки с большой амплитудой движения (10-1000 мм и более) [1].

2. Основное содержание и результаты работы

Предлагаются рабочие органы станков названных нами «винтовые роторы» с дискретно расположенными по периметру плоскими или криволинейными элементами, в которых массам загрузки сообщаются низкочастотные колебания больших амплитуд, при этом совмещаются транспортные и технологические функции, т. е., осуществлять процесс отделочно-зачистной и упрочняющей обработки обрабатываемых деталей (ОЗиУО) непрерывным потоком во время их транспортирования от загрузки к выгрузке.

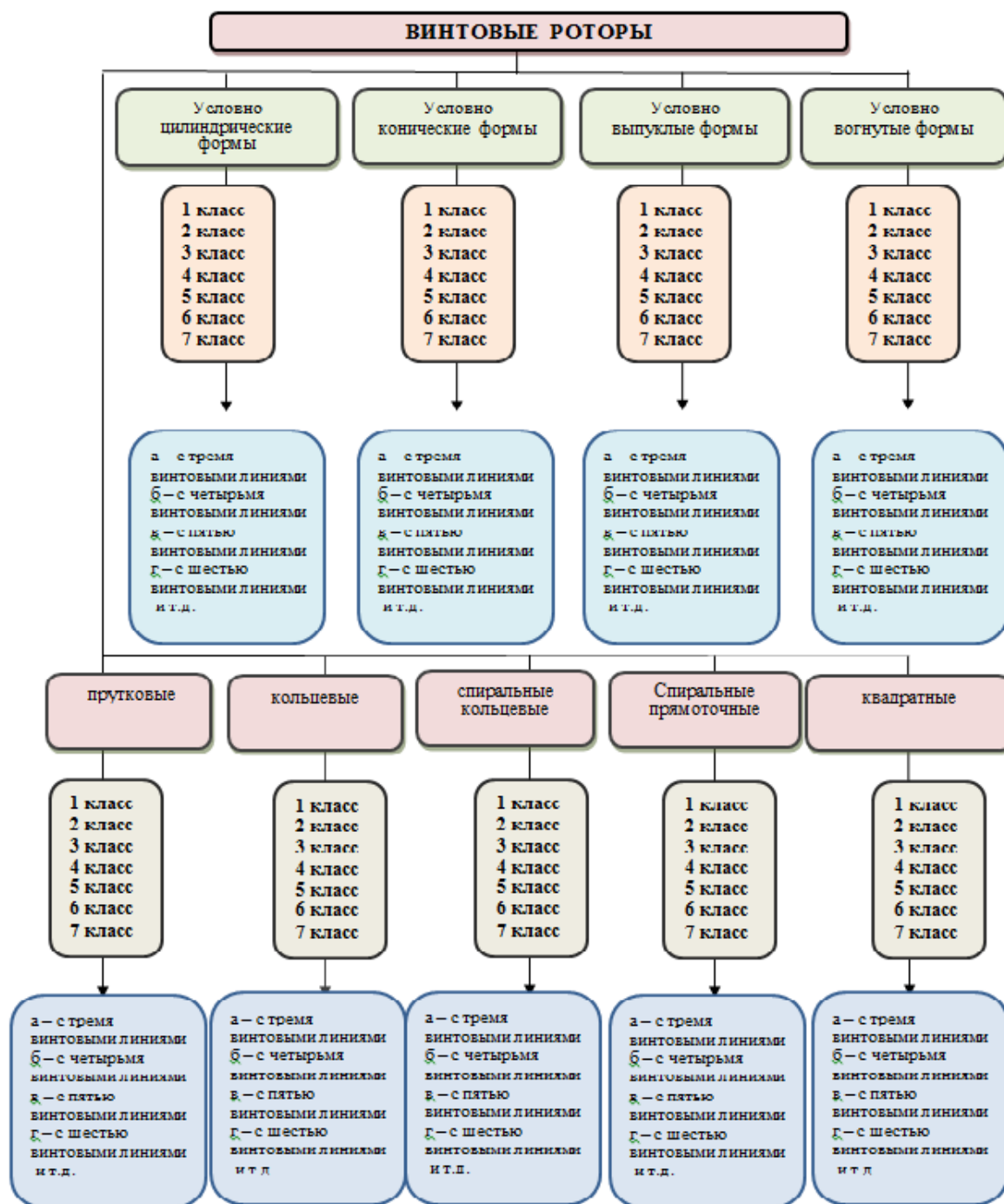


Рисунок 1. Классификация винтовых роторов

Предложена классификация винтовых роторов (рисунок 1), в которой присутствует общая идея винтовых роторов, позволяющая предвидеть и разрабатывать еще неведомые конструкции винтовых роторов. На рисунке 2 представлена схема станка на базе винтового ротора смонтированного из, например, октаэдральных элементов [2]. Такой станок включает станину 1, привод 2, опоры 3 и винтовой ротор 4 с ободами 5 и 6, которые опираются на роликовые с ребрами опоры 3, закрепленные на двух валах 7. На станине 1 смонтировано средство для загрузки 8, бункер 9 для приема обрабо-

таных деталей и бункер 10 для приема рабочих сред. Над бункером 10 в винтовом роторе 5 выполнены отверстия 11 для удаления рабочих сред. Станина смонтирована на опорах опорной плиты с возможностью регулировки наклона с помощью регулировочных болтов (на чертеже не показано). Изменение угла наклона осуществляется с целью регулирования скорости движения масс загрузки от загрузки к выгрузке.

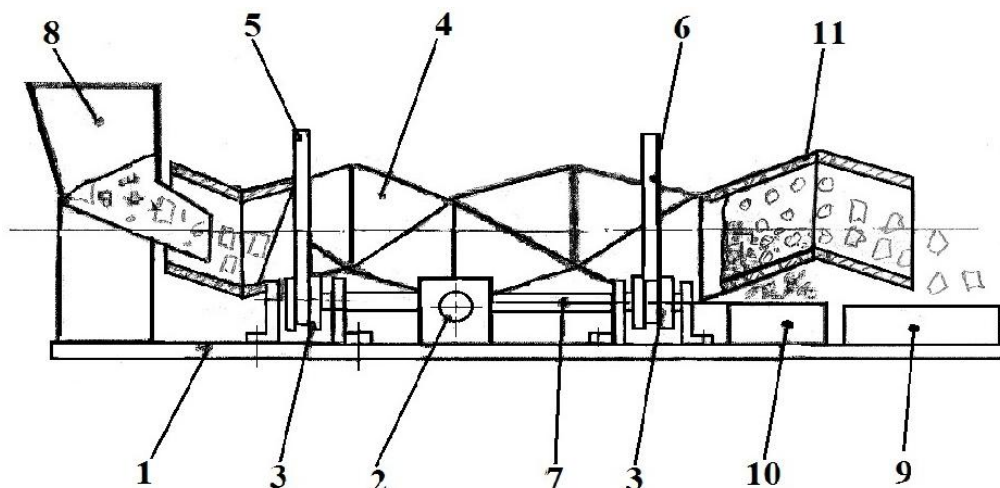


Рисунок 2. Схема станка на базе винтового ротора смонтированного из октаэдральных элементов, 1 - станина, 2 - привод главного движения, 3 - роликовые опоры, 4 - винтовой ротор, 5 и 6 - обода, 7 - два вала на которых закреплены роликовые опоры 3, 8 - средство для загрузки, 9 - бункер для приема обработанных деталей, 10 - бункер для приема рабочих сред, 11-отверстия для удаления рабочих сред.

Винтовой ротор 4 (рисунок 3) смонтирован из секций 1, которые изготовлены из треугольников 2, соединенных гранями 5 равносторонних треугольников 2. С образованием многозаходной поверхности по периметру. На рисунке 3 утолщенными линиями изображены винтовые линии 6-7-8-9-10-11 и 13-14-10-15-16-7-17. Винтовой ротор 4 по поперечному сечению изменяется от шестиугольника к треугольнику и вновь шестиугольнику (рисунок 4).

Станок работает следующим образом. В винтовой ротор 4 загружаются рабочая среда и детали. При вращении винтового ротора 4 массы загрузки движутся внутри винтового ротора с амплитудой 10–1000 мм и более.

Скорость движения масс загрузки может регулироваться наклоном станины 1 и закрепленным на ней винтовым ротором относительно станины 1, а также, при необходимости, установка внутри винтового ротора пружины растяжения, которая может обеспечить продольное перемещение масс от загрузки к выгрузке [3,4,5].

Однако как, показали опыты, масса загрузки – обрабатываемые детали и рабочая среда располагаются несимметрично оси вращения винтового ротора, поэтому возникают сложности при проектировании таких станков и расчете привода, а также мощности электродвигателя. Поэтому разработан и предложен метод расчета привода станка для отделочно-зачистной и упрочняющей обработки обрабатываемых деталей (ОЗиУО) на базе винтового ротора. Например, задано обеспечить отделочно-зачистную и упрочняющую обработку деталей изготовленных из стали Ст3. В качестве рабочих сред используют стальные шарики.

Примем средний удельный вес обрабатываемых деталей и частиц рабочих сред $j_{\text{ср.}}=7800 \text{ кг/м}^3$

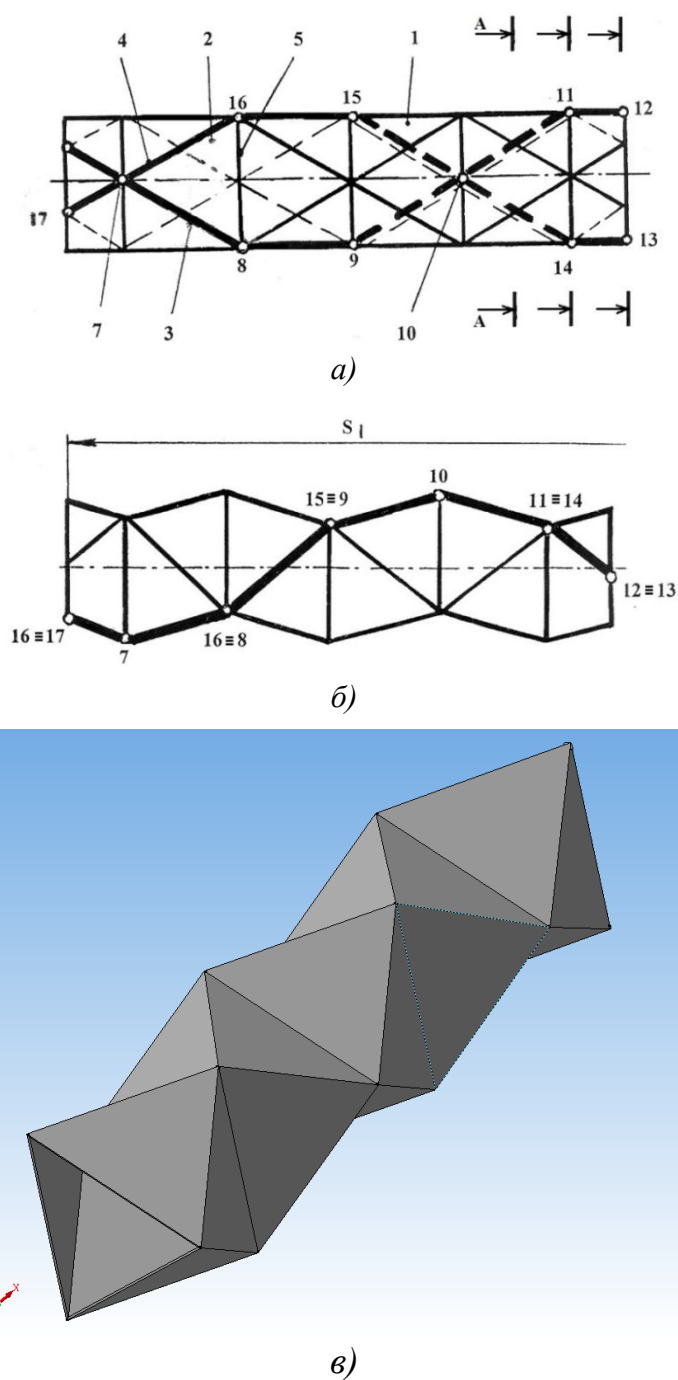


Рисунок 3. Рабочий орган станка для отделочно-зачистной и упрочняющей обработки обрабатываемых деталей (ОЗиУО), а) - вид спереди, б) - вид сверху, в) - наглядное изображение

Например, винтовой ротор 4 состоит из октаэдров, количество которых определяет его длину. Обозначив (рисунок 5) ребро октаэдра – a , апофему – S определим объ-

ем октаэдра, который подсчитать можно по формуле (1).

Если принять длину стороны октаэдра $a=0,4\text{м}$, то объем винтового ротора смонтированной из 9 октаэдров будет равен 0.

$$V = 0,471404521 \cdot a^3 = 0,2718 \text{ м}^3 \quad (1)$$

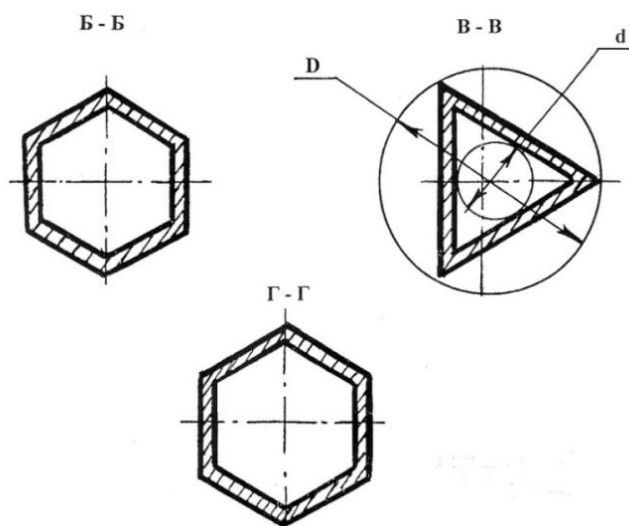


Рисунок 4. Сечения А-А, Б-Б, В-В рабочего органа станка для отделочно-зачистной и упрочняющей обработки обрабатываемых деталей (ОЗиУО)

Количество октаэдров определяется требуемыми конструктивно-технологическими параметрами процесса (ОЗиУО), а именно длиной винтового ротора L_p и его наружным диаметром D_p .

Из условия заполнения $K_v = 0,55$ объема винтового ротора, массу обрабатываемых деталей и частиц рабочих сред, находящихся внутри винтового ротора можно определить с помощью зависимости.

$$m_1 = 0,55 \cdot V \cdot \rho \quad (2)$$

где: плотность ρ соответствует среднему удельному весу обрабатываемых деталей и частиц рабочих сред, заполняющих винтовой ротор. Тогда

$$m_1 = 0,55 \cdot 0,2718 \text{ м}^3 \cdot 7800 \text{ кг/м}^3 = 1166,02 \text{ кг} \approx 1170 \text{ кг}. \quad (3)$$

Для определения массы ствола винтового ротора рассмотрим рисунок 5.

Ствол винтового ротора состоит из отдельных правильных октаэдров, соединенных между собой гранями (рисунок 5). Вершины октаэдров такого ствола образуют одновременно левую и правую трехходовую цилиндрическую винтовую линию, т.е. находятся в точках их взаимного пересечения, а ребра октаэдров являются секущими этих винтовых линий. Направление завинчивания можно выполнить как левым, так и правым.

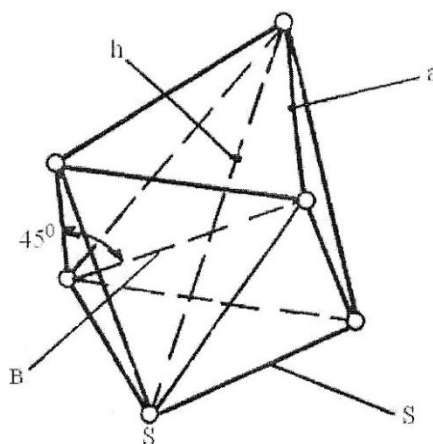


Рисунок 5 – Один из октаэдров, наглядное изображение

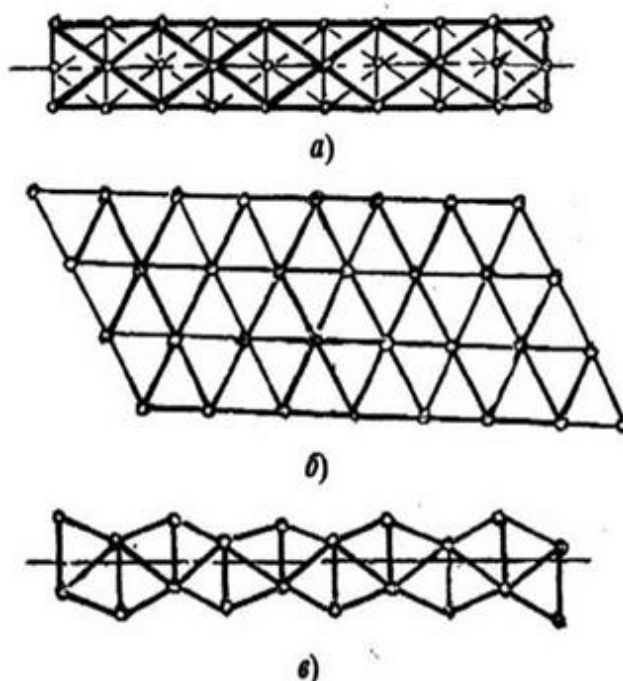


Рисунок 6. Ствол винтового ротора станка для отделочно-зачистной и упрочняющей обработки деталей (а- вид спереди, б-развертка боковой поверхности, в-вид сбоку)

Для определения массы ствола винтового ротора, определяем его площадь по периметру (рисунок 6), которая включает 9 октаэдров со сторонами в виде 6 равнобедренных треугольников со стороной 0,4 м, т. е. 54 равнобедренных треугольников. Причем площадь одного равнобедренного треугольника равна $S_1 = a^2 \cdot \sqrt{3} / 4 = (1,73/4) \cdot a^2 = 0,432 \cdot 0,16 \text{ м}^2 = 0,06912 \text{ м}^2$. Тогда площадь всей боковой поверхности ствола винтового ротора будет равна: $S_{\text{ствола}} = 0,06912 \cdot 54 = 3,73248 \text{ м}^2 \approx 3,75 \text{ м}^2$. Принимая из конструктивных соображений толщину стенок винтового ротора равной 0,0005 м получим что объем металла из которого изготовлен ствол винтового ротора равен $3,75 \text{ м}^2 \cdot 0,0005 \text{ м} = 0,01875 \text{ м}^3$ и тогда масса ствола винтового ротора равно:

$$m_2 = 0,01875 \text{ м}^3 \cdot 7800 \text{ кг/м}^3 = 146,25 \approx 147 \text{ кг} \quad (4)$$

1. Массу деталей находящихся внутри винтового ротора – $m_1 \approx 1170$ кг.
2. Массу ствола винтового ротора – $m_2 \approx 147$ кг.
3. Массу двух ободов, жестко закрепленных по наружному диаметру винтового ротора.

Так как диаметр винтового ствола винтового ротора определяется с помощью зависимости: $D=1.16 \cdot a=0,464$ м, то этот размер соответствует внутреннему диаметру ободов 5 и 6 (рисунок 1). Наружный диаметр ободов, из конструктивных соображений, принимаем равным 500 мм. При толщине обода равной 0,015 м, объем одного обода равен 0.001635 м^3 , а масса одного обода $m_3=13$ кг.

Таким образом, масса винтового ротора в сборе включает:

1. Массу обрабатываемых деталей находящихся внутри винтового ротора – $m_1 \approx 1170$ кг
2. Массу ствола винтового ротора – $m_2 \approx 147$ кг.
3. Массу двух ободов $2 \cdot m_3$, жестко закрепленных по наружному диаметру винтового ротора: $2 \cdot m_3 = 26$ кг

Поэтому, при условии равномерного распределения обрабатываемых деталей, и частиц рабочих сред общая масса винтового ротора в сборе m будет равна:

$$m=m_1+m_2+2 \cdot m_3=1170 \text{ кг} + 147+26 = 759 \text{ кг} \approx 1343 \text{ кг}$$

Силу прижатия винтового ротора к опорным роликам при условии равномерного распределения в нем обрабатываемых деталей (рисунок 7) можно определить:

$$\begin{aligned} F_N &= \frac{K \cdot F_t}{f} = \frac{K \cdot T_1 (i+1)}{f \cdot D} \\ F_N &= G \cdot \cos \alpha \end{aligned} \quad (5)$$

где $G=1343 \cdot 9,81=13174,83$ Н

$$F_N=7455,6 \cdot \cos 45^\circ = 13174,83 \cdot 0,52532 \approx 6920 \text{ Н}$$

Отсюда определяем вращающий момент на валу опорных роликов

$$M = \frac{F_N \cdot f \cdot D}{K \cdot u} = \frac{6920 \cdot 0,21 \cdot 0,51}{1,3 \cdot 2,5} \approx \frac{741,132}{3,25} \approx 228 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (6)$$

где f – коэффициент трения, $f = 0,21$;

d – диаметр ведущего катка, $d=0,2$ м;

K – коэффициент нагрузки, запас сцепления $K=1,25-1,5$, принимаем $K=1,3$

u – передаточное число от винтового ротора к опорным роликам $u = 2,5$.

При $n_6 = 70$ об/мин с учетом, что $u = 2,5$, опорные ролики 3 (рисунок 1) должны вращаться со скоростью $n=175$ об/мин, тогда:

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 175}{30} = 18,3 \left(\frac{1}{\text{с}} \right) \\ \eta_{об} &= \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 0,63; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\eta_1 = \eta_3 = 0,9;$$

$$\eta_2 = 0,7.$$

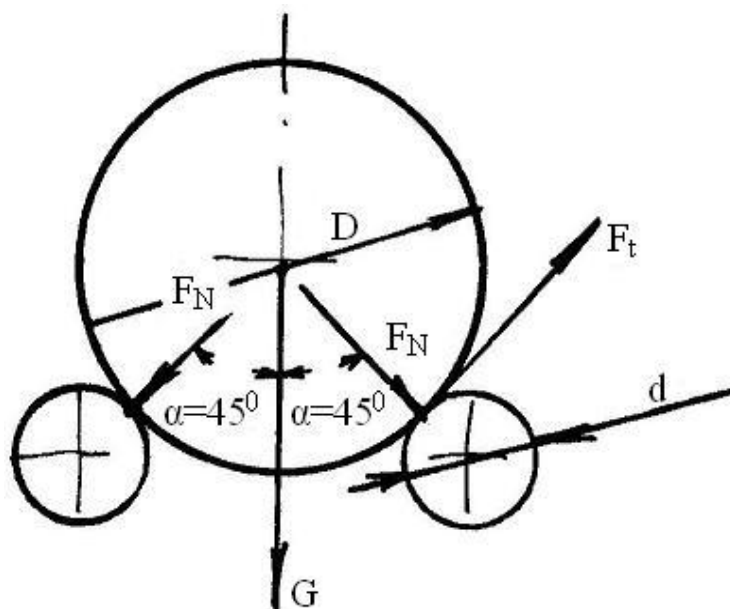


Рисунок 7. Схема сил действующих при вращении винтового ротора

В передаче крутящего момента M на вал роликов 3 принимает участие двойное вращение передачи и редуктор, поэтому с учетом КПД, мощность электродвигателя N при симметричном расположении загрузки обрабатываемых деталей и частиц рабочих сред помощью которого возможно вращать опорные ролики 3 и винтовой ротор с общей массой $m=1343$ кг, можно определить с помощью зависимости:

$$N = \frac{M \cdot \omega}{\eta_{об}} = \frac{228 \cdot 18,3}{0,63} = 6954 \text{ вт} \approx 6955 \text{ вт} \quad (8)$$

В действительности масса загрузки обрабатываемых деталей и частиц рабочих сред расположена в винтовом роторе несимметрично оси вращения. Поэтому следует предположить, что рассчитанной мощности электродвигателя для работы станка для отделочно-зачистной и упрочняющей обработки (ОЗиУО) деталей будет недостаточно. Для проверки этого предположения рассмотрим сечение винтового ротора плоскостью, перпендикулярной оси вращения (рисунок б) с обозначением величин применяемых при расчетах, например, φ – угол расположения свободной поверхности обрабатываемых деталей и частиц рабочих сред относительно горизонта, α – половина угла сегмента свободного объема винтового ротора, O – центр тяжести загрузки винтового ротора, m_1 – масса загрузки обрабатываемых деталей рабочих сред. Радиус OC обозначим « e » и его значение определим по формуле:

$$e = 0,424 \cdot (1 - K_v) \cdot D = 0,424 \cdot 0,45 \cdot 0,5 = 0,095 \text{ м} \quad (9)$$

Момент, создаваемый относительно оси вращения винтового ротора несимметричной загрузкой обрабатываемых деталей определяется зависимостью:

$$M_1 = x_e \cdot m_1 \cdot g = 0,055 \cdot 1170 \cdot 9,81 = 917,235 \text{ Н м} \quad (10)$$

где: m_1 - масса обрабатываемых деталей и частиц рабочих сред, находящихся внутри винтового ротора

x_e – проекция отрезка ОС на горизонтальную ось, определяемая зависимостью:

$$x_e = e \cdot \sin \varphi = 0,095 \cdot 0.5736 = 0,055 \text{ м} \quad (11)$$

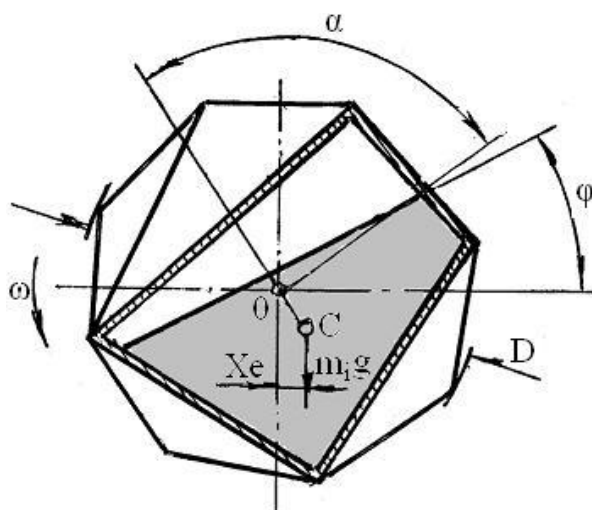


Рисунок 8. Схема к расчету станка для отделочно-зачистной и упрочняющей обработки (ОЗиУО) деталей

Зная момент M_1 создаваемый загрузкой винтового ротора определяем мощность электродвигателя, затрачиваемого на преодоление момента создаваемого несимметричной загрузкой обрабатываемых деталей относительно оси вращения винтового ротора.

$$N_1 = \frac{M_1 \cdot \omega}{\eta_{об}} = \frac{350,7 \cdot 18,3}{0,63} = 10187 \text{ Вт} \quad (12)$$

Таким образом, суммируя мощности электродвигателей для вращения винтового ротора от воздействия симметричной и несимметричной загрузки получим величину суммарной мощности электродвигателя станка для отделочно-зачистной и упрочняющей обработки на базе винтового ротора:

$$N_{общ.} = N + N_1 = 6955 + 10187 = 17142 \text{ Вт. } \approx 18 \text{ кВт} \quad (13)$$

Выбираем по справочнику ближайший по ряду электродвигатель:

АИР160М4
 N=18,5 кВт n=1500 об/мин

Выводы

В результате проведенных исследований:

– Создана классификация винтовых роторов, на основе общей идеи винтовых роторов, обеспечивающая возможность создания и поиска неизвестных конструкций винтовых роторов.

– Предлагается станок для отделочно-зачистной и упрочняющей обработки деталей в машиностроительном производстве с рабочим органом в виде винтовых роторов смонтированного из пустотелых октаэдров.

– Создана и предложена методика расчета привода станок для отделочно-зачистной и упрочняющей обработки деталей в машиностроительном производстве с рабочим органом в виде винтовых роторов смонтированного из пустотелых октаэдров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кошкин, Л. Н. Роторные и роторно-конвейерные линии / Л. Н. Кошкин. – М.: Машиностроение, 1986. – 319 с.

2. А.с. СССР №1484632, В24 D 31/02. Устройство для галтовки / Г.В.Серга; заявитель и патентообладатель Армавирский государственный педагогический институт.– №4242828/13; заявл. 02.04.1987; опубл. 07.06.1989, Бюл. № 21.

3. Пат. 2535888 Российская Федерация МПК В 24 В 31/02 (2006.01) / Устройство для галтовки деталей / Серга Г. В., Кочубей С. Г., Кузнецова Н. Н., Горячева Е. В., Ярош Е. А., Лазарева В. С.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2012126283/02; заявл. 22.06.12; опубл. 27.12.13, Бюл. № 12.

4. Пат. 2549793 Российская Федерация МПК В 24 В 31/02 (2006.01) / Станок для абразивной обработки деталей с отделением обработанных деталей от абразивных гранул и отходов обработки / Серга Г. В., Резниченко С. М.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2013144078/02; заявл. 01.10.13; опубл. 27.04.15, Бюл. № 12.

5. Пат. 2542203 Российская Федерация, МПК В 24 В 31/02 (2006.01) / Устройство для отделочно-зачистной обработки / Серга Г. В., Резниченко С. М.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2013138980/02; заявл. 20.08.13; опубл. 20.02.15, Бюл. № 5.

Поступила в редколлегию 23.04.2018 г