

УДК 621.924
DOI: 10.12737/20266

Г.В. Серга, В.А. Лебедев, К.А. Белокур, Д.Я. Яковлев

РОТОРНО-ВИНТОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Предложены технические решения по повышению производительности технологических систем отделочно-зачистной и упрочняющей обработки деталей на основе применения винтовых контейнеров. Представлены результаты оценки их

эффективности исходя из конструктивных особенностей.

Ключевые слова: технологическая система, винтовой контейнер, виброактиватор, пружина растяжения, отделочная обработка, упрочняющая обработка, масса загрузки.

G.V. Serga, V.A. Lebedev, K.A. Belokur, D.Ya. Yakovlev

ROTARY-HELICAL TECHNOLOGICAL SYSTEMS FOR PARTS MACHINING

The technical solutions for efficiency increase of technological systems for parts finishing and strengthening based on the use of screw containers are offered. The essence is revealed, design peculiarities and technological possibilities of a rotor-helical technological system with a vibro-container and an adjusting spring and a rotor-helical technological system with a rotating container are described. The results of experi-

mental researches of granular material motion in a screw container with the use of three-factor experiment planning are shown. The assessment of the screw containers efficiency application reasoning from their design peculiarities is given.

Key words: technological system, screw container, vibratory activator, extension spring, finishing, strengthening, load mass.

Введение

В настоящее время для выполнения отделочно-зачистной и упрочняющей обработки деталей на предприятиях машиностроительного комплекса широко применяются устройства с виброактиватором. Опыт практического применения вибростанков показывает, что они эффективно работают тогда, когда рабочая камера вибростанка колеблется с амплитудой 0,5...8 мм. Превышение указанных амплитудно-частотных характеристик приводит к значительному снижению сроков их эксплуатации. Кроме того, при использовании вибростанков для отделочно-зачистной и

упрочняющей обработки деталей серьезной проблемой, требующей своего разрешения, являются вопросы, связанные с загрузкой, выгрузкой деталей из рабочей зоны и их последующей транспортировкой. С целью исключения этого противоречия, а также расширения диапазона амплитудно-частотных характеристик технологического оборудования предлагается использовать для выполнения отделочно-зачистной и упрочняющей обработки деталей технологические системы с рабочими органами в виде винтовых контейнеров [1 - 4].

Роторно-винтовая технологическая система с виброконтейнером и регулировочной пружиной

Данная технологическая система выполнена в виде винтового контейнера со смонтированной внутри пружиной растяжения.

Роторно-винтовой станок (рис. 1) содержит контейнер 1, смонтированный горизонтально или под углом на плите 2, ко-

торая с помощью упругих элементов 3 жестко закреплена на основании 4. К плите 2 прикреплен вибратор 5. Продольное перемещение от загрузки к выгрузке в винтовом контейнере 1 обеспечивается тем, что количество винтовых поверхностей и винтовых канавок основного направления (три) превышает количество винтовых ка-

навок противоположного направления (две).

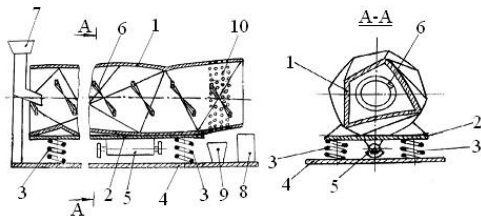


Рис. 1. Роторно-винтовой станок с виброконтнером с пружиной растяжения

Для обеспечения дополнительного перемещения гранул рабочих сред и обрабатываемых деталей роторно-винтовой станок, точнее винтовой контейнер 1, оборудован пружиной растяжения 6. В зависимости от характеристик обрабатываемых деталей, гранул рабочих сред и продолжительности процесса устанавливается такой шаг пружины, который отвечает оптимальным режимам обработки. Например, если требуется малое время обработки, то уменьшается шаг пружины растяжения 6. При обработке с большой продолжительностью в винтовом контейнере 1 шаг витков пружины растяжения 6 увеличивается. В нужном положении пружину 6 фиксируют специальными приспособлениями (на чертежах не показано).

Станок снабжен средством для загрузки 7, закрепленным на основании 4, и средством для разгрузки 8, а также бункером для отходов обработки 9. Над бункером 9 в контейнере 1 выполнены отверстия 10 для удаления отходов обработки (облой, металл заусенцев, окалина и т.п.).

Основным рабочим органом роторно-винтового станка является винтовой контейнер 1, изготовленный из трех прямоугольных полос 11, 12, 13 (рис. 2а) с образованием по наружному диаметру контейнера трех винтовых линий 14-15-16-17-18-19, 20-21-22-23-24, 25-26-27-28-29, а по внутреннему диаметру - трех ломаных винтовых канавок K_1 (14-15-16-17-18-19), K_2 (20-21-22-23-24), K_3 (25-26-27-28-29) с внутренним углом 70° (рис. 2б). При этом по длине винтового контейнера 1 каждое поперечное (проходное) сечение отличается от предыдущего не только формой (рис. 2в), но и их расположением относительно друг друга. Меняется также площадь проходного сечения, что нарушает стационар-

ность движения гранул рабочих сред и обрабатываемых деталей, увеличивает интенсивность их взаимодействия, расширяет технологические возможности. В такой конструкции винтового контейнера 1 по внутреннему диаметру образованы три ломаные винтовые канавки основного направления K_1 (14-15-16-17-18-19), K_2 (20-21-22-23-24), K_3 (25-26-27-28-29) с внутренним углом 70° и шагом S (рис. 2а). Эти канавки не только способствуют перемещению гранул рабочих сред и обрабатываемых деталей от загрузки к выгрузке, но и увеличивают интенсивность их взаимодействия.

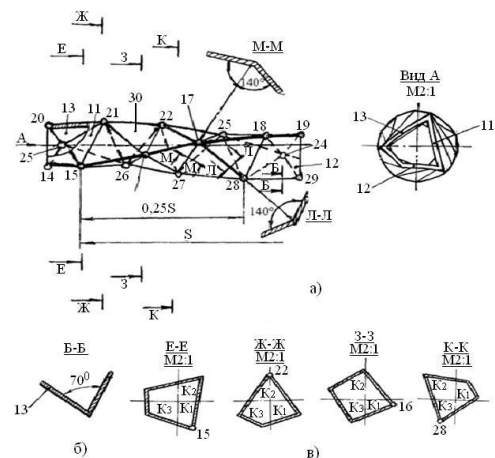


Рис. 2. Контейнер роторно-винтового станка:
а - контейнер; б - сечение Б-Б;
в - сечения Е-Е, Ж-Ж, 3-3, К-К

Роторно-винтовой станок представленной конструкции работает следующим образом. Возмущающая сила вращающегося виброактиватора 5 через плиту 2 и стенки винтового контейнера 1 передается гранулам рабочих сред и обрабатываемым деталям (рис. 1), которые загружаются непрерывным потоком с помощью средства для загрузки 7. Под влиянием вибрации гранулы рабочих сред и обрабатываемые детали совершают вращательное движение – циркуляционное движение в плоскостях, перпендикулярных продольной оси винтового контейнера 1. Радиальное движение гранул рабочих сред и обрабатываемых деталей (масс загрузки) обеспечивается ломаными винтовыми канавками основного направления 14-15-16-17-18-19, 20-21-22-23-24, 25-26-27-28-29 с внутренним углом 70° и шагом S , а также ломаными вин-

товыми поверхностями основного направления - свернутыми и изогнутыми полосами 11, 12, 13, треугольные грани которых (в виде равнобедренных треугольников 30), встречаясь с гранулами рабочих сред и обрабатываемыми деталями, совершающими под воздействием вибрации вращательное движение, направляют их в сторону выгрузки. Дополнительное движение гранул рабочих сред и обрабатываемых деталей (масс загрузки) обеспечивается витками неподвижно закрепленной пружины 6. При этом массы загрузки движутся вдоль винтовых навивок пружины растяжения 6, обеспечивая им дополнительное перемещение. Частота движений и соударений масс загрузки определяется не только частотой виброактиватора и коли-

чеством граней 30 по периметру винтового контейнера 1, но и количеством витков и шагом пружины растяжения 6, смонтированной стационарно (неподвижно) внутри контейнера, которая увеличивает интенсивность циркуляции масс загрузки, частоту взаимодействия гранул рабочих сред и обрабатываемых деталей, создает противотоки масс загрузки, повышает производительность отделочно-зачистной обработки деталей. Таким образом, массы загрузки совершают сложное пространственное движение и выгружаются из контейнера 1 в средство для разгрузки 8. Отходы обработки через отверстия 10 выводятся из контейнера 1 в бункер для отходов 9.

Роторно-винтовая технологическая система с вращающимся контейнером

Предлагаемая конструкция роторно-винтовой технологической системы для отделочно-зачистной или упрочняющей обработки деталей состоит из станины 1, выполненной в виде сварной рамы (рис. 3).

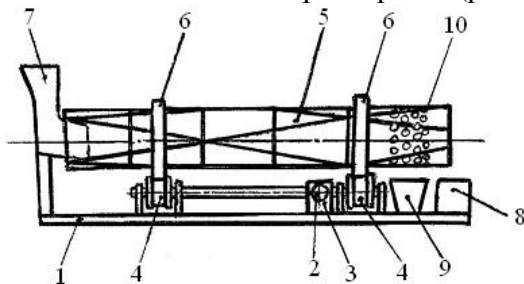


Рис. 3. Роторно-винтовой станок

На станине закреплен привод главного движения, состоящий из электродвигателя 2, редуктора 3 и четырех роликовых опор 4. Винтовой контейнер 5 снабжен двумя ободами 6, которые опираются на роликовые опоры 4 с ребрами. На станине 1 смонтированы средства для загрузки 7 и разгрузки 8, а также бункер 9 для отходов. Над бункером 9 в контейнере 5 выполнены отверстия 10 для удаления отходов (облой, металл заусенцев, окалина и т.п.).

Рабочий орган роторно-винтового станка - контейнер 5, представленный на рис. 4, изготовлен из секций 11, смонтированных из двух подсекций, например 12 и 13, выполненных из трех и более пооче-

редно соединенных между собой боковыми сторонами равнобедренных трапеций 14 и равнобедренных треугольников 15 (на рис. 4 одна из равнобедренных трапеций 14 и один из равнобедренных треугольников 15 выделены двойными линиями), основания которых в подсекциях расположены в разные стороны.

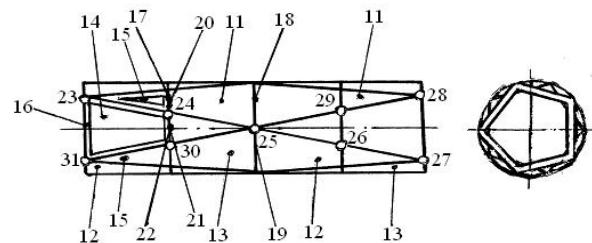


Рис. 4. Общий вид контейнера роторно-винтового станка

В подсекции 12 основание 16 трапеции 14 и основание 17 треугольника 15 расположены в разные стороны. При этом секции соединены между собой большими основаниями трапеций 18, 19 (рис. 2). Подсекции соединены в секцию так, что основания 17 равнобедренных треугольников подсекции 12 присоединены к верхнему основанию 20 равнобедренных трапеций подсекции 13, а основания 21 равнобедренных треугольников подсекции 13 присоединены к верхнему основанию 22 равнобедренных трапеций подсекции 12

(рис. 4). В результате такой последовательной сборки элементов стенок контейнера 5 по периметру образуются пять правых и пять левых ломаных винтовых линий с одинаковым шагом.

Роторно-винтовой станок с вращающимся контейнером работает следующим образом. Во вращающийся контейнер 5 станка через средство для загрузки 7 беспрерывно загружаются рабочая среда и подлежащие обработке детали. При вращении контейнера 5 рабочая среда и обрабатываемые детали совершают движение по винтовым канавкам и выгружаются из него в средство 8. Отходы обработки через отверстия 10 выводятся в бункер для отходов 9.

Таким образом, при вращении контейнера 5 гранулы абразивных сред и обрабатываемые детали захватываются внутренней винтовой поверхностью и поднимаются вверх в направлении вращения. По достижении определенной высоты под действием гравитационных сил и образовавшегося угла естественного откоса абразивные гранулы и обрабатываемые детали движутся навстречу друг к другу под определенными углами и к стенкам вращающегося контейнера 5 и перемещаются в сторону выгрузки. Так как поверхность контейнера непрерывна, то непрерывен и процесс движения последующих порций обрабатываемых деталей и абразивных гранул, которые поднимаются вверх и падают вниз, движутся под разными углами. Поскольку плоские элементы внутренней поверхности контейнера расположены под углом друг к другу, то каждая порция абразивных гранул и обрабатываемых деталей перемещается по своему вектору направления в сторону выгрузки, что в значительной степени интенсифицирует процесс взаимодействия гранул и деталей друг с другом и со стенками винтового контейнера 5.

При такой конструкции контейнера 5 значительно расширен диапазон изменений результирующих векторов перемещений гранул абразивной среды и обрабатываемых деталей. Каждая абразивная гранула и обрабатываемая деталь движутся по разным векторам направления, что обеспе-

чивает большую вероятность столкновений в начальный момент отрыва их от стенок контейнера, где они обладают определенным запасом кинетической энергии. Благодаря этому обеспечивается интенсификация процесса обработки деталей.

Известно, что на величину скорости V продольного перемещения обрабатываемых деталей и гранул абразивной среды в контейнере 5 существенно влияет изменение коэффициента заполнения K_v [3]. С целью определения оптимальной величины K_v для роторно-винтового станка проведены опыты при изменении угла наклона Θ винтового контейнера ($\Theta=4\dots7^\circ$), результаты которых представлены в виде номограмм (рис. 5). Эти исследования показали, что оптимальным значением коэффициента заполнения можно считать $K_v=0,5\dots0,6$.

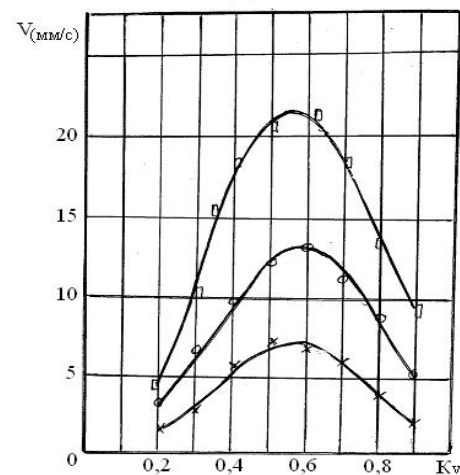


Рис. 5. Зависимость скорости перемещения масс загрузки в винтовом контейнере V от коэффициента заполнения K_v : □- $\Theta=7^\circ$; ○- $\Theta=5^\circ$; x- $\Theta=4^\circ$

Ниже приведены результаты экспериментальных исследований движения сыпучих материалов в винтовом контейнере с использованием планирования трехфакторного эксперимента.

В качестве факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на производительность и качество обработки, были выбраны коэффициент заполнения K_v и угол наклона Θ винтового контейнера. Коэффициент заполнения контейнера изменялся в пределах от 0,3 до 0,7.

В результате математической обработки экспериментальных данных получе-

но следующее уравнение регрессии в канонической форме для скорости перемещения обрабатываемых деталей в контейнере:

$$Y - 23,49 = -44,6x_1^2 + 74,69x_2^2.$$

Из полученного уравнения следует, что поверхность отклика – гиперболоид (рис.6), а ее центр - минимакс, поскольку коэффициенты уравнения имеют разные знаки. Гиперболы вытянуты по той оси, которой соответствует меньшее по абсолютной величине значение коэффициента в каноническом уравнении.

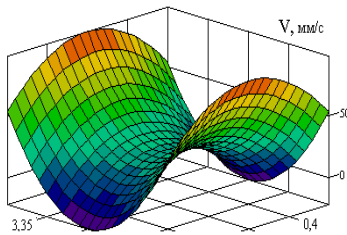


Рис. 6. Поверхность зависимости скорости перемещения масс загрузки в винтовом контейнере от коэффициента заполнения и угла его наклона

Рассмотрение двухмерного сечения плоскостью (рис. 7) показало, что расположение элементов скорости перемещения в области эксперимента соответствует поверхности типа «сходящиеся гребни». Из рис. 7 можно сделать вывод, что изменение значения x_1 в пределах эксперимента влияет на скорость перемещения по закону параболы, т.е. с увеличением коэффициента заполнения от центра плана скорость перемещения падает, а при увеличении значения угла наклона винтового контейнера (x_2) скорость перемещения возрастает.

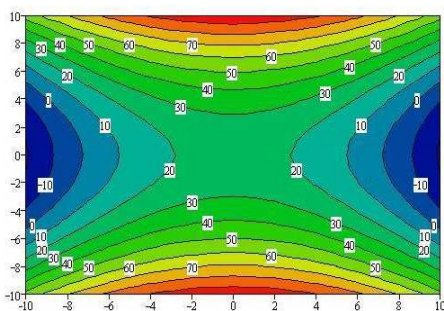


Рис. 7. Двухмерное сечение поверхности зависимости скорости перемещения масс загрузки в винтовом контейнере от коэффициента заполнения и угла его наклона

Анализ накопленных результатов аналитических и экспериментальных исследований позволил сделать предположение о наличии в винтовых контейнерах признаков, которые характеризуют только их конструктивные особенности и одинаковы для всех условий работы. Поэтому целесообразно провести поиск их универсальных характеристик. С этой целью проведено исследование движения масс загрузки. Выполнен анализ процесса их движения внутри винтового контейнера в поперечном и продольном его сечениях. Результаты исследований показали, что изменение скорости продольного движения частиц масс загрузки можно однозначно описать полиномом

$$P_4 = a_0 x^4 + a_1 x^3 + a_2 x^2 + a_3 x + a_4,$$

который может быть представлен в виде

$$P = AP_0.$$

Здесь A – коэффициент, зависящий от условий работы винтового контейнера (геометрических размеров, массы частиц обрабатываемых деталей и рабочих частиц, степени заполнения контейнера); $P_0 = x^4 + v_1 x^3 + v_2 x^2 + v_3 x + v_4$, где v_1, v_2, v_3, v_4 – коэффициенты, которые характеризуют только класс винтового контейнера, т.е. одинаковы при всех условиях его работы.

Выводы:

1. С использованием планирования трехфакторного эксперимента определены оптимальные режимы работы винтового контейнера роторно-винтовых станков при условии выполнения исходных требований к качеству обработки. Согласно полученному уравнению регрессии, при максимальной скорости перемещения частиц масс загрузки, равной 23,49 мм/с, оптимальный коэффициент заполнения винтового контейнера составляет 0,499, а минимальный угол его наклона, при котором будет обеспечиваться устойчивый рабочий процесс, равен $4,88^\circ$.

2. С увеличением угла наклона винтового контейнера скорость перемещения масс загрузки возрастает.

3. Техничко-экономические преимущества применения роторно-винтовых технологических систем возникают за счет расширения диапазона изменений резуль-

тирующих векторов перемещений гранул рабочих сред и обрабатываемых деталей, повышения интенсивности их смешивания и переориентации, а также увеличения

скорости их перемещения от загрузки к выгрузке. Это позволяет повысить производительность отделочно-зачистной и упрочняющей обработки деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2430825 Р Ф, МПК В24В 31/06. Устройство для отделочно-зачистной обработки / Белокур К.А., Серга Г.В.; заявитель и патентообладатель Кубан. гос. аграр. ун-т. – № 2009144621/02; заявл. 01.12.09; опубл. 10.10.11, Бюл. № 28.
2. Пат. 2507053 РФ, МПК В24В 31/02. Устройство для отделочно-зачистной обработки / Серга Г.В., Лебедев В.А., Иванов В.В.; заявитель и патентообладатель Кубан. гос. аграр. ун-т. – № 2012150229/02; заявл. 23.11.12; опубл. 20.02.14, Бюл. № 5.
3. Пат. 2519398 РФ, МПК В24В 31/02. Станок для химико-отделочно-упрочняющей обработки деталей / Серга Г.В., Иванов В.В., Лебедев В.А.; заявитель и патентообладатель Кубан. гос. аграр. ун-т. – № 2013106597/02; заявл. 14.02.13; опубл. 10.06.14, Бюл. № 16.
4. Лебедев, В.А. Интенсификация отделочно-упрочняющей обработки в винтовых барабанах путем последовательного уплотнения и разрежения массы загрузки / В.А. Лебедев, Н.Н. Кузнецова, Г.В. Серга // Межвуз. сб. науч. ст./ Дон. гос. техн. ун-т. – Ростов н/Д: Изд. центр ДГТУ, 2013. – С. 214-231.
1. Pat. 2430825 RF, IPC B24B 31/06. Device for Finishing-Trimming / Belokur K.A., Serga G.V.; Applicant and Patent Holder Kuban State Agricultural University. – № 2009144621/02; Applic. 01.12.09; published. 10.10.11, Bull.Бюл. № 28.
2. Pat. 2507053 RF, IPC B24B 31/02. Device for Finishing-Trimming / Serga G.V., Lebedev V.A., Ivanov V.V.; Applicant and Patent Holder Kuban State Agricultural University –№ 2012150229/02; applic. 23.11.12; published. 20.02.14, Bull. № 5.
3. Pat. 2519398 RF, IPC B24B 31/02. Machine for Chemical Finishing Strengthening of Parts / Serga G.V., Ivanov V.V., Lebedev V.A.; Applicant and Patent Holder Kuban State Agricultural University. - № 2013106597/02; Application 14.02.13; published. 10.06.14, Bull. № 16.
4. Lebedev, B.A. Intensification of Finishing Strengthening in Screw Drums by Successive Compression and Rarefaction of Load Mass / V.A. Lebedev, N.N. Kuznetsova, G.V. Serga // Inter-College Scientific Proceedings/ Don State Technical University. – Rostov-upon-Don: Publishing Center of DSTU, 2013. – pp. 214-231.

Статья поступила в редакцию 11.01.2016.

*Рецензент: д.т.н., профессор кафедры
Донского государственного технического университета
Тамаркин М.А.*

Сведения об авторах:

Серга Георгий Васильевич, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Начертательная геометрия и графика» Кубанского государственного аграрного университета, г. Краснодар, e-mail: serga-georgy@mail.ru.

Лебедев Валерий Александрович, к.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения» Донского государственного технического университета, г. Ростов-на-Дону, тел.: (863)2738-360, e-mail: va.lebidev@yandex.ru.

Белокур Кирилл Алексеевич, к.т.н., доцент кафедры «Строительное производство» Кубанского государственного аграрного университета, г. Краснодар, e-mail: belal.kir@mail.ru.

Яковлев Денис Яковлевич, аспирант Донского государственного технического университета, г. Ростов-на-Дону, тел.: (863)2738-360, e-mail: russchuvak@yandex.ru.

Serga George Vasilievich, D.Eng., Prof., Head of the Dep. “Descriptive Geometry and Graphics” Kuban State Agricultural University, Krasnodar, e-mail: serga-georgy@mail.ru.

Lebedev Valery Alexandrovich, Can.Eng., Prof. of the Dep. “Engineering Techniques” Don State Technical University, Rostov-upon-Don, Phone: (863)2738-360, e-mail: va.lebidev@yandex.ru.

Belokur Kirill Alexeyevich, Can.Eng., Assistant Prof. of the Dep. “Construction” Kuban State Agricultural University, Krasnodar, e-mail: belal.kir@mail.ru.

Yakovlev Denis Yakovlevich, Post graduate student Don State Technical University, Rostov-upon-Don, Phone: (863)2738-360, e-mail: russchuvak@yandex.ru.