

СТАНОК ДЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ГРАНУЛИРОВАННЫМИ АБРАЗИВНЫМИ СРЕДАМИ

**Владимир Зиновьевич Зверовщиков¹,
Сергей Александрович Нестеров²,
Руслан Рашитович Аюпов³,
Виктор Викторович Зиновьев⁴**

^{1,2,3,4} Пензенский государственный университет,
Пенза, Россия

Аннотация. Разработан центробежный станок для отделочно-зачистной обработки поверхностей деталей. Приведена кинематическая схема станка с дифференциальным механизмом привода вращения контейнеров. Составлены кинематические цепи станка для определения технологических параметров процесса центробежной обработки. Представлены технические характеристики станка.

Ключевые слова: центробежный станок, абразивные гранулы, объемная обработка, кинематические цепи

MACHINE FOR CENTRIFUGAL MACHINING OF PARTS WITH GRANULAR ABRASIVE ENVIRONMENTAL

**Vladimir Z. Zverovshchikov¹,
Sergei A. Nesterov²,
Ruslan R. Ayupov³,
Viktor V. Zinoviev⁴**

^{1,2,3,4} Penza State University, Penza, Russia

Abstract. A centrifugal machine tools for finishing and stripping surfaces of parts has been developed. A kinematic diagram of a machine tools with a differential mechanism for driving the rotation of containers is given. The kinematic circuits of the machine tools are compiled to determine the technological parameters of the centrifugal processing process. The technical characteristics of the machine tools are presented.

Keywords: centrifugal machine tools, abrasive granules, volumetric processing, kinematic chains

В машиностроительном производстве неуклонно возрастает удельный вес деталей, изготовленных из материалов с повышенными прочностными характеристиками. К ним относятся высоколегированные жаропрочные и коррозионно-стойкие закаленные стали, а в последние годы широко используют детали из титана и титановых сплавов.

Отделочная и зачистная обработка поверхностей деталей из таких материалов затруднена и производится преимущественно различными абразивными инструментами.

Уровень механизации и автоматизации технологических операций отделочной и зачистной обработки на многих предприятиях машино- и приборостроения не соответствует современным требованиям. Нередко эти операции выполняются вручную или с использованием устройств для малой механизации, что существенно повышает трудоемкость механической обработки деталей и не гарантирует стабильного качества поверхностей.

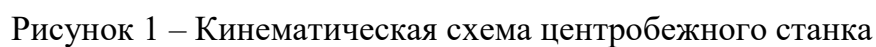
Поэтому актуальной является задача разработки оборудования и абразивных рабочих тел для повышения качества поверхностей деталей сложной конфигурации с труднодоступными участками профиля.

Для отделочной обработки поверхностей колец со сложным профилем поверхности и внутренних поверхностей полых изделий (гильз или баллонов) в Пензенском государственном университете разработаны оригинальные центробежные станки [1, 2]. Уплотнение свободных абразивных частиц в режущие абразивные бруски производится центробежными силами, возникающими при планетарном вращении контейнеров, с установленными в них кольцами подшипников качения [1] или при вращении многосекционной крыльчатки в полости изделия [2]. Однако сложно обеспечить стабильное качество поверхностей деталей при объемной отделочно-зачистной обработке, так как разработанное оборудование и выпуск инструмента как по количеству, так и по номенклатуре не соответствует запросам отечественных предприятий.

В промышленности используют более 400 видов оборудования для объемной отделочно-зачистной обработки, но лишь единицы выпускаются серийно и могут быть приобретены потребителями на рынке, а десятки видов оборудования для наиболее производительных методов (вибрационных, центробежно-ротационных и центробежно-планетарных) разрабатываются только для отдельных отраслей промышленности. Большинство оборудования заводы изготавливают для собственных нужд самостоятельно. В России отечественного оборудования для объемной обработки высокопроизводительными методами непрерывного действия очень мало, а автоматические линии закупаются за рубежом. Специальные абразивные инструменты для объемной обработки, как по количеству, так и по номенклатуре не обеспечивают потребности предприятий и в больших количествах импортируются. При этом до 80...90 % выпускаемых машиностроительными предприятиями деталей подвергают различным видам отделочно-зачистной обработки.

Нами разработан высокопроизводительный центробежный станок для объемной обработки деталей (полирования, скругления

Кинематическая схема станка приведена на рисунке 1.



151

передачу 11 и муфту 13, которая дает возможность преобразовать планетарный механизм привода вращения контейнеров в дифференциальный и позволяет осуществить реверсирование вращения контейнеров вокруг собственных осей относительно корпуса водила 3. Это достигается осевым положением муфты 13, которая при крайнем левом положении соединяет через шпиндель и жестко установленное на нем коническое зубчатое колесо 14 с зубчатым колесом 15. В полости корпуса водила 3 размещены зубчатые колеса 16, закрепленные на валах контейнеров 4 и находящиеся в зацеплении с центральным зубчатым колесом 17, установленным на валу 18 с возможностью вращения. При этом вал 18 жестко соединен с корпусом водила 3, а центральное зубчатое колесо 17 посредством хвостовика, закрепленного на коническом зубчатом колесе 15, обеспечивает кинематическую связь валов контейнеров с приводным двигателем 12 через зубчатые колеса 16, 15, 14, муфту 13, закрепленную на валу 10, и клиноременную передачу 11.

В зависимости от положения муфты 13 центральное колесо 17 привода контейнеров может получать вращение вокруг собственной оси от вала 10 через конические зубчатые колеса 14 и 15 или остается неподвижным относительно корпуса ротора 2 (при крайнем правом положении муфты как показано на рисунке). При левом положении муфты 13 планетарный механизм привода вращения контейнеров превращается в дифференциальный, так как центральное зубчатое колесо 17 получает вращение вокруг собственной оси от шпинделя с закрепленным на нем коническим колесом 14, которое находится в зацеплении с колесами 15 и 17.

Для уравнивания массы водила контейнеров с рабочей загрузкой при переносном вращении водила с ротором предусмотрен противовес (конструкция станка позволяет при необходимости установить вместо противовеса еще одно водило с контейнерами).

Центробежную обработку поверхностей деталей на станке осуществляют следующим образом. Детали и гранулированный шлифовальный материал загружают в контейнеры 4, заливают технологическую жидкость и герметично закрывают крышками. Включают приводной двигатель 12 и вращение от вала двигателя через клиноременную передачу 11 передается валу 10, зубчатым колесам 9 и 8, валу 18 и водилу 3, несущему в своих опорах валы контейнеров 4.

При крайнем правом положении муфты 13, изображенном на рисунке, конические зубчатые колеса 14 и 15 и центральное зубчатое колесо 17 фиксируются относительно корпуса ротора 2. Поэтому при вращении водила 3 от вала 18 происходит обкат зубчатых колес 16, смонтированных на валах контейнеров 4, по центральному зубчатому колесу 17 механизма привода контейнеров.

Таким образом, контейнеры получают планетарное движение, совершая переносное вращение с водилом 3 и вращаясь вокруг собственных осей в том же направлении, что и водило.

При левом положении муфты 13 вращение от вала 10 передается одновременно по двум кинематическим цепям, во-первых, через конические зубчатые колеса 9 и 8 и вал 18 водилу 3, несущему контейнеры 4, а во-вторых, через муфту 13, шпинделью, с установленным на нем зубчатым колесом 14, и через зубчатые колеса 15 и 17 зубчатым колесам 16, смонтированным на валах контейнеров 4. В результате планетарный механизм привода контейнеров трансформируется в дифференциальный и достигается возможность вращения водила и контейнеров в противоположных направлениях, что важно для интенсификации объемной обработки деталей, особенно на черновых операциях. При этом передаточное отношение конических зубчатых колес 14 и 15 подобрано таким образом, что контейнеры 4 будут совершать вращение относительно корпуса водила 3 с той же скоростью, что и при одностороннем движении.

После сообщения водилу 3 и контейнерам 4 вращения вокруг собственных осей с интервалом в 2...3 секунды, необходимым для уплотнения рабочей загрузки, включается по команде от реле времени (на рисунке не показано) двигатель 7, от вала которого вращение через ременную передачу и червячный редуктор передается ротору 2 станка.

В результате водило 3 получает переносное вращение, а контейнеры 4 с рабочей загрузкой будут совершать сложное пространственное движение: относительно оси водила 3 и вместе с водилом относительно оси ротора 2. Такое движение контейнеров усложняет траекторию перемещения уплотненной массы рабочей загрузки в объеме контейнера, интенсифицирует обработку, создает условия для выравнивания съема металла на различных участках поверхностей деталей, повышает стабильность показателей качества по профилю фасонных деталей.

Основные кинематические цепи станка, необходимые для определения технологических параметров процесса центробежной обработки, имеют следующий вид:

– кинематическая цепь привода ротора

$$n_p = n_{M1} \frac{125}{125} \cdot \frac{1}{i_p},$$

где n_p и n_{M1} – частоты вращения ротора и вала двигателя 7 (см. рисунок), соответственно;

– кинематическая цепь привода водила

$$n_{\text{в}} = n_{\text{М2}} \left(\frac{125}{200} \pm n_{\text{р}} \right) \cdot \frac{25}{25},$$

где $n_{\text{в}}$ и $n_{\text{М2}}$ – частоты вращения водила и вала двигателя 12;

– кинематические цепи привода контейнеров

$$n_{\text{к}} = \left(n_{\text{М2}} \frac{125}{200} \pm n_{\text{р}} \right) \cdot \frac{25}{25} \left(1 - \frac{50}{25} \right) \frac{64}{36}$$

– для противоположного вращения водила и контейнеров (левое положение муфты 13)

$$n_{\text{к}} = \left(n_{\text{М2}} \frac{125}{200} \pm n_{\text{р}} \right) \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{64}{36}$$

– для одностороннего вращения водила и контейнеров (правое положение муфты 13).

Знак «плюс» соответствует противоположному вращению зубчатого колеса 9 и ротора 2, а знак «минус» – одностороннему вращению.

Режим противоположного вращения контейнеров и водила используют при удалении значительного технологического припуска с жестких деталей. При одностороннем вращении водила и контейнеров происходит меньшее уплотнение рабочей загрузки, поэтому такой режим назначают для отделочно-зачистной обработки маложестких, легкодеформируемых деталей.

При центробежной обработке в качестве рабочих тел применяют формованные абразивные гранулы на керамической или полимерной связках.

На отделочных операциях рекомендуется использовать абразивные гранулы на полимерной связке, так как они отличаются повышенной демпфирующей способностью и ускоряют выравнивание шероховатости поверхности. Для увеличения равномерности съема металла на труднодоступных участках профиля деталей нами предложены абразивные гранулы на полимерной связке с вмонтированными в них металлическими сердечниками [4]. Эти гранулы имеют форму двояковыпуклых линз, образованных двумя шаровыми сегментами с общим основанием. такая конструкция гранул обеспечивает повышенную проникающую способность на участках деталей с ограниченным доступом. Для получения блестящей поверхности на стальных деталях в качестве рабочих тел на финишных операциях следует использовать неабразивные наполнители в виде фарфоровых или стальных полированных шаров.

По окончании обработки приводные двигатели станка автоматически отключаются реле времени. Разделение деталей

и шлифовального материала обеспечивают сепарирующие устройства, снабженные сменными ситами для различных размеров деталей и гранулированных рабочих тел. Детали промывают и подвергают консервации, а гранулы повторно используют при обработке.

Технические характеристики станка

1. Диаметр контейнера, мм – 200;
2. Высота контейнера, мм – 200;
3. Расстояние между осями вращения водила и контейнеров, мм – 200;
4. Расстояние от привалочной плоскости водила до оси ротора, мм – 300;
5. Частота вращения ротора, мин^{-1} – 6...90;
6. Частота вращения контейнера, мин^{-1} – 50...1600;
7. Частота вращения водила, мин^{-1} – 30...900;
8. Мощность привода контейнеров, кВт – 4;
9. Мощность привода ротора, кВт – 2;
10. Габариты станка, мм – 1400 x 1800 x 1700;
11. Масса станка, кг – 1800.

Разработанный центробежный станок может быть использован как для черновых операций, так и для полирования поверхностей деталей со сложной формой профиля. При этом значительно повышается стабильность показателей качества поверхностей деталей и достигается существенное снижение трудоемкости отделочно-зачистных операций.

Список литературы

1. Патент 2703065 С1 Российская Федерация, МПК В24В 31/104. Способ центробежной абразивной обработки колец подшипников качения / Зверовщиков В. З., Зверовщиков А. Е., Нестеров С. А., Зверовщиков А. В., Макарычев П. В. ; патентообладатель ФГБОУ ВО «ПГУ». Заявка № 2019111002 ; заявл. 12.04.2019 ; опублик. 15.10.2019, Бюл. № 29.
2. А.с. № 831573 (СССР), М.кл. В24В 31/10. Станок для полировки свободным абразивом полых изделий / Мартынов А. Н., Гонтарь И. Н., Зверовщиков В. З., Пшеничный О. Ф. ; заявитель Пензенский политехнический институт. Заявка № 2791335/25-08 ; заявл. 10.07.1979 ; опублик. 23.05.1981, Бюл. № 19.
3. А.с. № 1871446А1 (СССР), МКИ В24В 31/104. Устройство для центробежной абразивной обработки деталей / Мартынов А. Н., Зверовщиков В. З., Зверовщиков А. Е. ; заявитель Пензенский политехнический институт. Заявка № 4796396/08 ; заявл. 26.02.1990 ; опублик. 15.09.1992, Бюл. № 34.
4. Патент № 2470760С1 Российская Федерация, МПК В24В 31/14. Абразивная гранула / Зверовщиков В. З., Зверовщиков А. Е., Понукалин А. В., Зверовщиков Е. А.; патентообладатель ФГБОУ ВО «ПГУ». Заявка № 2011118265/02 ; заявл. 05.05.2011 ; опублик. 27.12.2012, Бюл. № 36

Информация об авторах / Information about the authors

Владимир Зиновьевич Зверовщиков

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Технологии
и оборудование машиностроения»,
Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)
e-mail: wzzwer@mail.ru

Vladimir Z. Zverovshchikov

Doctor of engineering sciences,
professor, professor
of the sub-department
of "Technologies and equipment
of mechanical engineering", Penza
State University (40 Krasnaya street,
Penza, Russia)

Сергей Александрович Нестеров

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Технологии
и оборудование машиностроения»,
Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)
e-mail: nesterovs@list.ru

Sergey A. Nesterov

Candidate of engineering sciences,
associate professor, associate
professor of the sub-department
of "Technologies and equipment
of mechanical engineering", Penza
State University (40 Krasnaya street,
Penza, Russia)

Руслан Рашитович Аюпов

студент, Пензенский
государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
e-mail: ruslan.ayupov_16@mail.ru

Ruslan R. Ayupov

Student, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Виктор Викторович Зиновьев

студент, Пензенский
государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
e-mail: vitovkapnz@vk.com

Viktor V. Zinoviev

Student, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)