(19) Евразийское патентное ведомство

(21) 201800251 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2019.11.29

(22) Дата подачи заявки
2018.03.29

(51) Int. Cl. ***B23C 1/06*** (2006.01)
B23Q 5/10 (2006.01)
B23C 3/00 (2006.01)
B23Q 15/007 (2006.01)
F16C 32/06 (2006.01)

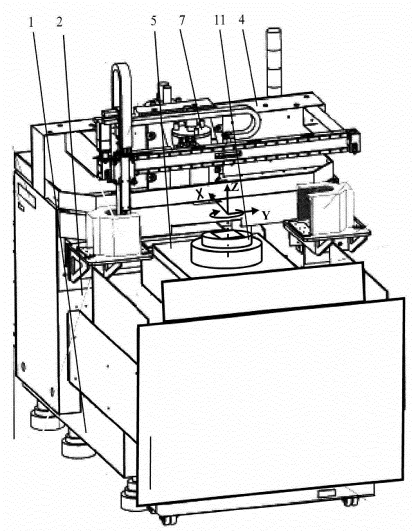
(54) ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПРЕЦИЗИОННЫЙ СТАНОК С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ И СПОСОБ ОБРАБОТКИ НА НЕМ ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

(96) **2018/EA/0020 (BY) 2018.03.29**

(71) Заявитель:
ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ "ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ"; ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "ПЛАНАР" (BY)

(72) Изобретатель:
Басинюк Владимир Леонидович, Ковальчук Геннадий Филиппович, Школык Святослав Борисович, Зайцев Валерий Александрович, Цыркун Дмитрий Петрович (BY)

(57) Изобретение относится к области машиностроения, в частности к вертикальным прецизионным станкам с числовым программным управлением (ЧПУ), предназначенным для высокоточной и скоростной обработки плоских поверхностей деталей. Вертикальный прецизионный станок с ЧПУ содержит станину (1), арочную конструкцию, сформированную двумя вертикальными стойками (2, 3), прикрепленными к станине (1) и соединенными между собой поперечной балкой (4), стол (5), установленный между двумя вертикальными стойками (2, 3) с возможностью перемещения вдоль осей X и Z и соединенный с приводом горизонтальной подачи стола (5), шпиндель (7), установленный на поперечной балке (4) и соединенный с приводом его вращения, планшайбу (11), расположенную на столе (5) с возможностью программно-управляемого вращения, при этом установлены дополнительные многоканальный контроллер, блоки контроля и управления и приводы исполнительных устройств, а в способе обработки введено дополнительное, к тепловому и скоростному, программно-управляемое автоматизированное регулирование жесткости системы СПИД при черновой и чистовой обработке. Совокупность указанных выше существенных признаков, наличие новых конструктивных элементов в станке, действий и их режимов в способе обработки позволяют повысить жесткость системы СПИД при черновой обработке и снизить ее при чистовой обработке, снизить колебания шпинделя (7), что позволяет обеспечить управление не только тепловыми режимами, но и величинами жесткости системы СПИД и скорости резания в диапазоне величин, недостижимом для известных технических решений.



201800251 A1

201800251 A1

МПК B23B 35/00, B23C 1/06

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПРЕЦИЗИОННЫЙ СТАНОК С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ И СПОСОБ ОБРАБОТКИ НА НЕМ ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Изобретение относится к области машиностроения, в частности к вертикальным прецизионным станкам с числовым программным управлением (ЧПУ), предназначенным для высокоточной и скоростной обработки плоских поверхностей деталей.

Из уровня техники известно, что точность обработки, в частности, отклонения от плоскостности и шероховатость обработанной поверхности, во многом зависит не только от точностных характеристик оборудования, но и от его жесткости, во многом определяемой податливостью подвижных сопряжений, параметров колебаний при функционировании и особенностей процесса резания, включая скорость, подачу, снимаемые припуски и геометрию инструмента, а также свойств материалов обрабатываемой детали и инструмента. Более того, при использовании кубического нитрида бора для обработки таких материалов как медь, наиболее высокое качество обработанной поверхности может быть достигнуто лишь при высоких и сверхвысоких скоростях резании, реализуемых оборудованием, имеющим повышенную жесткость подвижных сопряжений, в частности подшипниковых узлов.

Повышенная жесткость подшипниковых узлов традиционно достигается использованием радиально-упорных подшипников, устанавливаемых с осевым натягом, однако при этом резко снижается ресурс этих узлов, возникают существенные ограничения по скоростям вращения и, как следствие, скоростям резания, неизбежно возникают вибрации, не позволяющие обеспечить нанометрическую шероховатость поверхности, для достижения

которой необходимо исключить колебания. Такая шероховатость может быть достигнута при использовании бесконтактных (аэростатических, электромагнитных и т.п.) опор, однако при этом уменьшается жесткость и не может быть достигнута субмикронная точность обработки.

Известен станок с ЧПУ по патенту на полезную модель (патент на полезную модель RU № 168927 U1 МПКВ23В 35/00, 2006 г.), включающий станину с продольными направляющими, стол, установленный с возможностью перемещения по продольным направляющим станины от соответствующего привода, связанного с ЧПУ, привод вертикального перемещения, связанный с ЧПУ, арочную конструкцию, сформированную двумя вертикальными стойками, прикрепленными к станине и соединенными сверху поперечной балкой, шпиндельную бабку с расположенным по центру шпинделем, установленную между вертикальными стойками и имеющую привод вращения, связанный с ЧПУ (аналог).

За счет расположения шпиндельной бабки между вертикальными стойками по центру поперечной балки станок имеет относительно высокую жесткость и виброустойчивость по сравнению со станками, у которых шпиндельная бабка установлена с внешней стороны арочной конструкции станка.

К существенным недостаткам приведенной конструкции при ее использовании для сверхточной суперфинишной лезвийной обработки можно отнести следующее:

– в рассматриваемой конструкции не предусмотрена возможность управления жесткостью в направлении оси Z (вертикальном направлении) и, как следствие, ограничен диапазон управления скоростью вращения и, соответственно, скоростью резания, поэтому при использовании в ее подвижных соединениях только радиально-упорных подшипников невозможно обеспечить лезвийной обработкой высокую скорость резания, плавность работы и связанную с ними нанометрическую шероховатость, а при использовании только бесконтактных, например аэростатических, опор – ско-

рость может быть увеличена до требуемых величин (850 м/мин и более), однако недостаточная жесткость не позволит обеспечить субмикронную точность обработки;

– обработка плоских поверхностей на рассматриваемом станке в несколько переходов недостаточно эффективна с позиций возможности обеспечения субмикронной точности и нанометрической шероховатости, поскольку при этом параметры системы СПИД («Станок – Приспособление – Инструмент – Деталь» – система, образованная совокупностью упругой системы механизмов и рабочих процессов их взаимодействия, состоящая из собственно станка, приспособлений, инструмента и детали (заготовки)) остаются прежними вследствие отсутствия возможности управления жесткостью, скоростями резания и колебаниями (выход из резонансных зон) в широком диапазоне значений;

– при суперфинишной лезвийной обработке с небольшими припусками усилия резания крайне малы и расположение шпиндельной бабки между вертикальными стойками по центру поперечной балки, обеспечивающее относительно высокую жесткость и виброустойчивость конструкции, не дает ощутимого эффекта по точности обработки.

Из известных наиболее близким по технической сущности к предлагаемому является вертикальный прецизионный станок с ЧПУ [1], включающий станину с продольными направляющими, стол, установленный с возможностью перемещения по продольным направляющим станины от соответствующего привода, связанного с ЧПУ, арочную конструкцию, сформированную двумя вертикальными стойками, прикрепленными к станине и соединенными сверху поперечной балкой, привод вертикального перемещения, связанный с ЧПУ, установленную с внешней стороны арочной конструкции станка шпиндельную бабку, расположенную на траверсе и имеющую привод вращения шпинделя, связанный с ЧПУ (прототип).

Жесткость и виброустойчивость конструкции при использовании этого технического решения вполне достаточна для суперфинишной лезвийной

обработки с небольшими припусками и усилиями резания. Однако, как и в приведенном выше техническом решении, к существенным недостаткам данной конструкции при ее использовании для сверхточной суперфинишной лезвийной обработки можно отнести следующее:

– в рассматриваемой конструкции не предусмотрена возможность управления жесткостью в направлении оси Z (вертикальном направлении) и, как следствие, ограничен диапазон управления скоростью вращения и, соответственно, скоростью резания, поэтому при использовании в ее подвижных соединениях только радиально-упорных подшипников невозможно обеспечить лезвийной обработкой высокую скорость резания, плавность работы и связанную с ними нанометрическую шероховатость, а при использовании только бесконтактных, например аэростатических, опор – скорость может быть увеличена до требуемых величин (850 м/мин и более), однако недостаточная жесткость не позволит обеспечить субмикронную точность;

– обработка плоских поверхностей на рассматриваемом станке в несколько переходов недостаточно эффективна с позиций возможности обеспечения субмикронной точности и нанометрической шероховатости, поскольку при этом параметры системы СПИД остаются прежними вследствие отсутствия возможности управления жесткостью, скоростями резания и колебаниями (выход из резонансных зон) в широком диапазоне значений, т.е. ограничены возможности управления параметрами оборудования, оказывающими непосредственное влияние на точность и шероховатость обрабатываемой поверхности.

Известен способ высокоскоростной фрикционно-лезвийной обработки плоских поверхностей, включающий черновую и чистовую лезвийную обработку с одной установки плоской поверхности, в процессе которой осуществляется управление тепловыми параметрами процесса резания, состоящее из предварительного нагрева до температуры 450-550°С обрабатываемой поверхности трением нижним торцом стакана (частью оснастки), в котором ус-

тановлен режущий инструмент, а затем, после черновой обработки со снятием припуска толщиной 1,0-2,5 мм, охлаждения обрабатываемой поверхности и стакана с последующей чистовой обработки с припуском в 2,5-5 раз меньшим, чем у черновой обработки, т.е. снятием слоя металла 0,2-1 мм (патент РФ № 2274524, C2 B23D 81/00, B23C 5/06).

К основным достоинствам приведенного выше способа можно отнести следующее:

– обработка плоских поверхностей осуществляется с одной установки в два (черновой и чистовой) перехода;

– в процессе обработки осуществляется изменение параметров системы СПИД путем:

а) регулирования тепловых режимов процесса обработки путем прижатия стакана для фиксирования фрезы к плоской обрабатываемой поверхности, которая взаимодействуя со стаканом разогревается до температуры 450-550°С (черновая обработка), а затем стакан отводится от обрабатываемой поверхности, эта поверхность и инструмент охлаждаются и осуществляется чистовая обработка;

б) изменения снимаемого припуска и, как следствие, усилий резания и связанных с эти деформаций.

Вместе с тем, к существенным недостаткам приведенного выше способа обработки можно отнести то, что управляемыми параметрами являются только тепловые режимы процесса обработки, что ограничивает возможности управления качеством обрабатываемой поверхности.

Из известных наиболее близким по технической сущности к предлагаемому является выбранный в качестве прототипа способ высокоскоростной обработки плоских поверхностей [2], включающий чистовую лезвийную обработку при вращательном перемещении помещенного в металлический стакан инструмента, при этом для подогрева обрабатываемого металла до температуры 450-550°С черновую обработку проводят нижним торцом стакана с глубиной 1,0-2,5 мм, чистовую обработку осуществляют

со скоростью резания 10-30 м/с с глубиной лезвийного резания 0,2-1,0 мм и в процессе обработки производят охлаждение инструмента воздушным путем через сквозные отверстия, размещенные равномерно в боковой стенке стакана.

Выбранный в качестве прототипа способ имеет те же достоинства что у аналога, однако и его существенным недостатком являются ограниченные технические возможности управления параметрами (только тепловыми режимами), определяющими точность обработки и шероховатость обрабатываемой поверхности, что ограничивает технические возможности управления ее качеством.

Задачей изобретения является повышение качества обработки плоских поверхностей, а также расширение функциональных возможностей вертикального прецизионного станка с числовым программным управлением (ЧПУ) и способа обработки плоских поверхностей путем снижения разноразмерности и шероховатости при планаризации плоских пластин лезвийной высокоскоростной обработкой.

Решение поставленной задачи достигается тем, что в вертикальном прецизионном станке с числовым программным управлением (ЧПУ), содержащем станину, арочную конструкцию, сформированную двумя вертикальными стойками, прикрепленными к станине и соединенными между собой поперечной балкой, стол, установленный между двумя вертикальными стойками с возможностью возвратно-поступательного перемещения в горизонтальном направлении вдоль оси X и соединенный с приводом горизонтальной подачи стола, шпиндель, установленный на поперечной балке и соединенный с приводом его вращения, ***согласно техническому решению*** в ЧПУ станка установлен дополнительный многоканальный контроллер и станок снабжен планшайбой, расположенной на столе с возможностью программно-управляемого вращения в, по меньшей мере, одной аэростатической подшипниковой опоре и соединенной с дополнительно установленным приводом вращения планшайбы, который соединен с ЧПУ, резцовой головкой, же-

стко закрепленной на шпинделе, в котором, по меньшей мере, одна опора выполнена аэростатической, устройством подачи сжатого воздуха в аэростатические опоры, устройством подачи охлаждающей жидкости, а привод вращения шпинделя выполнен в виде электродвигателя, в котором постоянные магниты жестко закреплены на валу шпинделя, а магнитоэлектрические модули жестко закреплены в корпусе шпинделя и соединены с ЧПУ, при этом вал шпинделя выполнен с полостью для охлаждающей жидкости, соединенной с устройством для подачи охлаждающей жидкости, и станок дополнительно снабжен приводом вертикальной подачи стола, соединенным с ЧПУ и установленным с возможностью вертикального возвратно-поступательного перемещения стола вдоль оси Z, блоками контроля, соединенными выходами с соответствующими входами дополнительного многоканального контроллера ЧПУ и включающими: блок контроля вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z вала шпинделя относительно его корпуса; блок контроля горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y нижней части вала шпинделя относительно его корпуса; блок контроля горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y верхней части вала шпинделя относительно его корпуса; блок контроля вертикальных и горизонтальных перемещений и колебаний планшайбы относительно стола; блок контроля давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя; блок контроля давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниковых опорах планшайбы; блок контроля температуры охлаждающей жидкости; блок контроля температуры корпуса шпинделя, а также блоками регулирования, соединенными входами с соответствующими выходами дополнительного многоканального контроллера и включающими: блок регулирования давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя; блок регулирования давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниковых опорах планшайбы; блок регулирования объема подачи охлаждающей жидкости.

Аэростатическая подшипниковая опора планшайбы станка выполнена комбинированной в виде подшипника скольжения и аэростатической подшипниковой опоры, расположена между обращенными друг к другу поверхностями стола и планшайбы и снабжена по меньшей мере одним датчиком давления сжатого воздуха, соединенным с блоком контроля давления сжатого воздуха в аэростатической подшипниковой опоре планшайбы, при этом планшайба установлена с возможностью вращения на аэростатической подшипниковой опоре или подшипнике скольжения, причем на ее поверхности, обращенной к резцовой головке, выполнены из пористого материала, например, пористой керамики, вакуумные присоски для крепления обрабатываемых пластин.

Вал шпинделя станка выполнен с расположенным в его нижней части диском, диаметр которого превышает диаметр вала, а в корпусе шпинделя выполнена ответная диску цилиндрическая полость, при этом опора вала, в которой установлена нижняя часть вала, выполнена комбинированной в виде по меньшей мере одной осевой аэростатической подшипниковой опоры и по меньшей мере одного радиального аэростатического подшипника, где осевая аэростатическая подшипниковая опора образована торцевой поверхностью диска вала и ответной ей торцевой поверхностью цилиндрической полости корпуса шпинделя, снабженной осевыми отверстиями для прохода воздуха, распределенными по окружности и сообщающимися по меньшей мере с одним каналом в корпусе шпинделя, последовательно соединенным с блоком регулирования давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя и устройством подачи сжатого воздуха, а радиальный аэростатический подшипник образован наружной цилиндрической поверхностью вала и ответной ей внутренней цилиндрической поверхностью корпуса шпинделя, снабженной радиальными отверстиями для прохода воздуха, распределенными по окружности и длине внутренней цилиндрической поверхности корпуса шпинделя и сообщающимися по меньшей мере с одним каналом в корпусе шпинделя, соединенным последова-

тельно с блоком регулирования давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя и устройством подачи сжатого воздуха, причем опора, расположенная в верхней части шпинделя, выполнена комбинированной в виде осевого подшипника скольжения, образованного конусообразной или сферической поверхностью участка вала шпинделя, выполненной из стали с поверхностной твердостью 61...65 HRC, и опорной конусообразной поверхностью установленной в корпусе втулки, выполненной из антифрикционного материала, например железографита, угол конусности которой и наибольший диаметр конусообразной поверхности, установленной с возможностью контакта с ответной конусообразной или сферической поверхностью вала выбирают из соотношения

$$\alpha = arctg\frac{d_{mr}(1+[V_c]/[V_{mr}])}{2(L_1+L_2)}, \qquad (1)$$

$$d_p = d_{mr}\frac{[V_c]}{[V_{mr}]}, \qquad (2)$$

где α – угол конусности опорной конусообразной поверхности установленной в корпусе шпинделя втулки, выполненной из антифрикционного материала, рад;

L_1 – расстояние между наибольшим диаметром d_r опорной конусообразной поверхности корпуса шпинделя, контактирующей с ответной конусообразной или сферической поверхностью вала шпинделя, и диском вала шпинделя (его серединой по толщине), мм;

L_2 – расстояние между диском вала шпинделя (его серединой по толщине) и нижней плоскостью резцовой головки, мм;

d – диаметр диска, мм;

$[V_c]$ – допустимая скорость скольжения антифрикционного материала, м/с;

$[V_{mr}]$ – минимально скорость резания, выбираемая из условия обеспечения требуемой шероховатости при предварительной (черновой) обработке, м/с;

d_{mr} – диаметр установки режущих кромок резцов (не показаны), обеспечиваемый державкой резцовой головки, мм.

d_p – наибольший диаметр конусообразной поверхности установленной в корпусе шпинделя втулки, установленной с возможностью контакта с ответной конусообразной или сферической поверхностью вала шпинделя, мм,
и радиального аэростатического подшипника, расположенного над электродвигателем и образованного наружной цилиндрической поверхностью вала шпинделя и ответной ей внутренней цилиндрической поверхностью корпуса шпинделя, снабженной радиальными отверстиями для прохода воздуха, распределенными по меньшей мере по одной окружности и связанными по меньшей мере с одним каналом, последовательно соединенным с блоком регулирования давления сжатого воздуха и устройством подачи сжатого воздуха, при этом каждый из указанных аэростатических подшипников снабжен по меньшей мере одним датчиком давления сжатого воздуха, соединенным с блоком контроля давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя и шпиндель установлен с возможностью вращения его вала в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах или в расположенном в верхней части вала шпинделя подшипнике скольжения и расположенных в нижней части вала аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах.

Размещенная на шпинделе станка резцовая головка выполнена диаметром, превышающем диаметр диска вала шпинделя, и снабжена двумя диаметрально расположенными резцовыми державками, установленными с возможностью их поворота вокруг горизонтальной оси и расположения режущих кромок резцов на диаметре d_r, превышающем диаметр планшайбы, при этом одна державка установлена с возможностью крепления режущего инструмента, а вторая – с возможностью балансировки резцовой головки.

Станок снабжен бесконтактными датчиками перемещений и колебаний вала шпинделя относительно его корпуса и планшайбы относительно стола, соединенными с блоками контроля вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z вала шпинделя относительно его корпуса, горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y нижней части вала шпинделя, горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y верхней части вала шпинделя, вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z и горизонтальных колебаний вдоль осей X и Y планшайбы относительно стола, при этом датчики выполнены в виде установленных с возможностью бесконтактного взаимодействия постоянных магнитов и датчиков Холла и постоянные магниты размещены на валу шпинделя и планшайбе, а датчики Холла установлены на корпусе шпинделя и на столе с возможностью регулирования расстояния между ними и постоянными магнитами от 0,5 до 9 мм.

Дополнительный многоканальный контроллер станка выполнен на базе микрокомпьютера с внутренней памятью и имеет по меньшей мере десять цифровых и аналоговых входов с аналого-цифровыми преобразователями (АЦП) и пять выходов с цифро-аналоговыми преобразователями (ЦАП), первые вход и выход которого соединены с ЧПУ, 2-й вход соединен с выходом блока контроля вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z вала шпинделя относительно его корпуса, 3-й вход соединен с выходом блока контроля горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y нижней части вала шпинделя относительно его корпуса, 4-й вход соединен с выходом блока контроля горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y верхней части вала шпинделя относительно его корпуса, 5-й вход соединен с выходом блока контроля вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z и горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y планшайбы относительно стола, 6-й вход соединен с выходом блока контроля давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя, 7-й вход соединен с выходом блока контроля давления в аэростатических подшипниковых опорах планшайбы, 8-й вход соединен с вы-

ходом блока контроля температуры охлаждающей жидкости, 9-й вход соединен с выходом блока контроля температуры корпуса шпинделя, 10-й вход соединен с 1-м выходом вычислительного средства, 2-й выход соединен с входом блока регулирования давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя, 3-й выход соединен с входом блока регулирования давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниковых опорах планшайбы, 4-й выход соединен с блоком регулирования объема подачи охлаждающей жидкости, причем в состав ЧПУ введены дополнительные средство отображения и вычислительное средство, 1-й вход и выход которого соединен с соответственно 5-м выходом и 10-м входом дополнительного многоканального контроллера, 2-й вход и выход соединен с выходом и входом ЧПУ, 3-й выход соединен с входом средства отображения.

В способе обработки плоских поверхностей на вертикальном прецизионном станке с числовым программным управлением (ЧПУ), включающем установку обрабатываемой детали на станке, ее черновую и чистовую обработку с управлением тепловыми режимами функционирования системы СПИД, скоростью резания и припуском на обработку, согласно техническому решению обработку осуществляют однолезвийным алмазным или алмазоподобным инструментом, например из кубического нитрида бора, при для этом при осуществлении черновой и чистовой обработки осуществляют управление жесткостью системы СПИД и частотой колебаний режущего инструмента, причем при черновой обработке повышают жесткость системы СПИД, устанавливая и вращая вал шпинделя в расположенном в его верхней части подшипнике скольжения и в расположенных в нижней части вала аэростатических радиальном подшипнике и осевой подшипниковой опоре и вращая планшайбу в опоре скольжения, и черновую обработку осуществляют со скоростью резания 750-800 м/мин, а при чистовой обработке в системе СПИД создают повышенную плавность работы, устанавливая и вращая шпиндель и планшайбу в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах, и чистовую обработку осуществляют со скоростью резания, превы-

шающей 1200 м/мин, причем при черновой обработке снимается припуск 0,4-0,8 мм, а при чистовой – менее 0,2 мм.

Совокупность указанных выше существенных признаков, наличие новых конструктивных элементов в станке, действий и их режимов в способе обработки позволяют повысить жесткость системы СПИД при черновой обработке и снизить ее при чистовой обработке, снизить колебания шпинделя, что позволяет обеспечить управление не только тепловыми режимами, но и величинами жесткости системы СПИД и скорости резания в диапазоне величин, недостижимом для известных технических решений.

Краткое описание чертежей.

Пример исполнения вертикального прецизионного станка с ЧПУ, предлагаемого в изобретении, поясняется чертежами, где в схематично упрощенном виде показаны:

на фиг. 1 – общий вид вертикального прецизионного станка с ЧПУ;

на фиг. 2 – вид спереди вертикального прецизионного станка с ЧПУ;

на фиг. 3 – установка шпинделя на поперечной балке;

на фиг. 4 – блок-схема взаимосвязей системы ЧПУ, дополнительного контроллера, блоков управления, блоков контроля и датчиков, приводов и согласующих элементов;

на фиг. 5 – шпиндель;

на фиг. 6 – разрез А-А на фиг. 2;

на фиг. 7 – разрез Б-Б на фиг. 5;

на фиг. 8 – вид *I* фиг. 5 (увеличенный) с конической опорной поверхностью вала шпинделя;

на фиг. 9 – вид *I* фиг. 5 (увеличенный) со сферической опорной поверхностью вала шпинделя;

на фиг. 10 – схема определения угла конусности опорной поверхности подшипника скольжения вала шпинделя;

на фиг. 11 – схема резцовой головки;

на фиг. 12 –планшайба.

Вертикальный станок с числовым программным управлением содержит (фиг. 1 и 2) станину 1, прикрепленные к станине 1 две вертикальные стойки 2 и 3, соединенные между собой поперечной балкой 4, что в совокупности образовывает арочную конструкцию.

Стол 5 станка установлен между двумя вертикальными стойками 2 и 3 на направляющих 6 с возможностью возвратно-поступательного перемещения в горизонтальном направлении вдоль оси X. Управление перемещением вдоль оси X осуществляется основным контроллером (не показан), размещенным в ЧПУ привода (не показан) (фиг. 2).

Шпиндель 7 установлен на поперечной балке 4 на кронштейне 8 (фиг. 3). В ЧПУ 9 станка установлен кроме основного также дополнительный многоканальный контроллер 10 (фиг. 4), 1-й вход и 1-й выход которого соединен с 1-м выходом и 1-м входом ЧПУ 9.

Станок снабжен:

– планшайбой 11, расположенной на столе 5 с возможностью программно-управляемого вращения в аэростатической подшипниковой опоре (не показана) и дополнительным соединенным с ЧПУ 9 приводом (не показан), обеспечивающим ее вращение вокруг оси Z;

– резцовой головкой 12, жестко закрепленной на шпинделе 7;

– устройством 13 (фиг. 4) подачи сжатого воздуха в аэростатические подшипники и подшипниковые опоры, в качестве которого может быть использована либо цеховая система подачи сжатого воздуха либо компрессор;

– устройством 14 (фиг. 4) подачи охлаждающей жидкости в шпиндель, в качестве которого используется гидростанция (не показана) с программно-регулируемой системой подачи охлаждающей жидкости, например, путем управления с использованием преобразователя частоты (ПЧС) скоростью вращения насоса гидростанции.

Привод вращения шпинделя 7 выполнен в виде электродвигателя, в котором постоянные магниты 15 жестко закреплены на валу 16 шпинделя 7 (фиг. 5), а магнитоэлектрические модули 17 жестко закреплены в корпусе 18

шпинделя 7 и соединены с ЧПУ 9. Вход магнитоэлектрических модулей 17 соединен со 2-м выходом ЧПУ 9.

Вращение планшайбы 11 осуществляется дополнительным приводом 19 вращения планшайбы (фиг. 4), вход которого соединен с 3-м выходом ЧПУ 9. Вертикальная подача стола 5 осуществляется дополнительным приводом 20 вертикальной подачи стола вдоль оси Z, вход которого соединен с 4-м выходом ЧПУ 9, а его перемещение вдоль оси X осуществляется приводом 21 перемещения стола вдоль оси X, соединенным с 5-м выходом ЧПУ 9 (фиг. 4).

Станок снабжен (фиг. 4) блоками контроля, соединенными выходами с соответствующими входами дополнительного многоканального контроллера 10 ЧПУ 9 и включающими:

– блок контроля 22 вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z вала 16 шпинделя 7 относительно его корпуса 18, выход которого соединен со 2-м входом многоканального контроллера 10;

– блок контроля 23 горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y нижней части 16а вала 16 шпинделя 7 относительно его корпуса 18, выход которого соединен с 3-м входом многоканального контроллера 10;

– блок контроля 24 горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y верхней части 16б вала 16 шпинделя 7 относительно его корпуса 18, выход которого соединен с 4-м входом многоканального контроллера 10;

– блок контроля 25 вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z и горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y планшайбы 11 относительно стола 5, выход которого соединен с 5-м входом многоканального контроллера 10;

– блок контроля 26 давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя 7, выход которого соединен с 6-м входом многоканального контроллера 10;

– блок контроля 27 давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниковых опорах планшайбы 11, выход которого соединен с 7-м входом многоканального контроллера 10;

– блок контроля 28 температуры охлаждающей жидкости, выход которого соединен с 8-м входом многоканального контроллера 10;

– блок контроля 29 температуры корпуса 18 шпинделя 7, выход которого соединен с 9-м входом многоканального контроллера 10.

Станок также содержит (фиг. 4) блоки регулирования, соединенные входами с соответствующими выходами дополнительного многоканального контроллера 10 и включающие:

– блок 30 регулирования давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя 7, вход которого связан со 2-м выходом дополнительного многоканального контроллера 10;

– блок 31 регулирования давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниковых опорах планшайбы 11, вход которого связан с 3-м выходом дополнительного многоканального контроллера 10;

– блок 32 регулирования объема подачи охлаждающей жидкости, вход которого связан с 4-м выходом дополнительного многоканального контроллера 10;

Подшипниковая опора планшайбы 11 выполнена комбинированной в виде подшипника скольжения и аэростатической подшипниковой опоры (не показаны). Подшипник скольжения и аэростатическая подшипниковая опора расположены между обращенными друг к другу поверхностями стола 5 и планшайбы 11. Вал 16 шпинделя 7 выполнен сборным с креплением верхней и нижней частей посредством винтов 33 (фиг. 5). На поверхности стола 5, обращенной к планшайбе 11, размещена пористая керамика 34 для подачи сжатого воздуха в аэростатическую подшипниковую опору, последовательно соединенная с по меньшей мере тремя размещенными по окружности не связанными между собой полостями 35 а, б, в (фиг. 6, сечение А-А фиг. 2) в столе 5, каждая из которых соединена с блоком 31 регулирования давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниковых опорах планшайбы 11, установленных с возможностью программно-управляемого регулирования индивидуально устанавливаемого давления сжатого воздуха, и снабжена датчика-

ми давления сжатого воздуха 36, выходы которых соединены с входами блока 27 контроля давления в аэростатических опорах планшайбы 11. Блок 31 регулирования давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниковых опорах планшайбы 11 соединен с устройством 13 подачи сжатого воздуха в аэростатические подшипники и подшипниковые опоры.

Планшайба 11 установлена с возможностью вращения либо на аэростатической подшипниковой опоре, либо на подшипнике скольжения.

Вал 16 шпинделя 7 выполнен с расположенным в его нижней части диском 37, диаметр d которого превышает диаметр вала 16, а в корпусе 18 шпинделя 7 выполнена ответная диску 37 цилиндрическая полость 38.

В шпинделе 7 в нижней части 16а вала 16 установлена комбинированная опора, состоящая из осевой аэростатической подшипниковой опоры и радиального аэростатического подшипника.

Осевая аэростатическая подшипниковая опора расположена под диском 37 (нижняя аэростатическая подшипниковая опора диска 37) и образована нижней торцевой поверхностью 39 цилиндрической полости 38 и ответной ей нижней торцевой поверхностью 40 диска 37 вала 16, между которыми выполнен зазор 20-50 мкм. В корпусе 18 выполнены отверстия 41 для прохода сжатого воздуха к торцевой поверхности 39, распределенные по окружности и сообщающиеся с, например, одним каналом 42 в корпусе 18 шпинделя 7, последовательно соединенным с блоком 30 регулирования давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя 7 устройством 13 подачи сжатого воздуха.

Для повышения управляемости угловым положением вала 16 шпинделя 7 в вертикальной плоскости в корпусе 18 шпинделя 7 могут быть выполнены четыре, расположенных по окружности и не связанных между собой, канала 42а, 42б, 42в и 42г (фиг. 7, сечение Б-Б на фиг. 5), каждый из которых снабжен аналогичными отверстию 41 отверстиями для прохода сжатого воздуха, распределенными по окружности, сообщающимися с каналами 42а, 42б, 42в и 42г в корпусе 18 шпинделя 7 и последовательно соединяющимися с блоком

30 регулирования давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя 7, установленным с возможностью управления давлением сжатого воздуха в каждом из этих каналов вне зависимости от давлений сжатого воздуха в других каналах и соединенным с устройством 13 подачи сжатого воздуха в аэростатические подшипники и подшипниковые опоры. Каждый из этих каналов имеет датчик давления сжатого воздуха 43 в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя 7 (фиг. 4), выходы которых соединены с входом блока 26 контроля давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя 7. В определенных вариантах расчетных нагрузок отверстия 41 могут быть неравномерно распределены по окружности.

Для повышения нагрузочной способности и жесткости (за счет повышения давления сжатого воздуха), а также расширения возможностей управления положением и колебаниями вала 16 шпинделя 7 над диском 37 расположена вторая аэростатическая подшипниковая опора – верхняя аэростатическая опора диска 37, образованная верхней торцевой поверхностью 44 цилиндрической полости 38 корпуса 18 шпинделя 7 и ответной ей верхней торцевой поверхностью 45 диска 37 вала 16, между которыми выполнен зазор 20-50 мкм. В верхней торцевой поверхности 44 (корпуса 18 шпинделя 7 выполнены отверстия 46 для прохода сжатого воздуха, распределенные по окружности и сообщающиеся с каналом 47 в корпусе 18 шпинделя 7.

Это может быть:

– один кольцевой канал 47, обеспечивающий одинаковое по величине программно-управляемое давление сжатого воздуха и соответствующую жесткость;

– четыре кольцевых канала (не показаны), размещенные по окружности аналогично каналам 42а, 42б, 42в и 42г (фиг. 7 сечение Б-Б на фиг. 5), каждый из которых снабжен аналогичными отверстию 46 отверстиями для прохода сжатого воздуха и датчиками его давления 43, соединенными с блоком 26 контроля давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и

подшипниковых опорах шпинделя 7, при этом опоры распределены по окружности, сообщаются с соответствующими каналами в корпусе 18 шпинделя 7, последовательно соединяется с блоком 30 регулирования давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя 7, установленным с возможностью управления давлением сжатого воздуха в каждом из этих каналов вне зависимости от давлений сжатого воздуха в других каналах, и устройством 13 подачи сжатого воздуха в аэростатические подшипники и подшипниковые опоры, что позволяет за счет создания различного давления каналам 42а, 42б, 42в и 42г управлять угловым положением вала 16 шпинделя 7.

Радиальный аэростатический подшипник комбинированной опоры вала 16 шпинделя 7, размещенный под диском 37 в нижней части шпинделя 7, образован цилиндрической поверхностью 48 нижней 16а части вала 16 и ответной ей цилиндрической поверхностью 49 корпуса 18 шпинделя 7 (на фиг. 4). Между ними выполнен зазор 20-50 мкм. В корпусе 18 шпинделя 7 выполнены расположенные по окружности и выходящие на цилиндрическую поверхность 49 отверстия 50 для прохода сжатого воздуха, соединенные либо с одним, либо, для повышения управляемости положением вала 18 шпинделя 7, с четырьмя каналами 51, выполненными по окружности корпуса 18 шпинделя 7, причем при выполнении 4-х каналов 51 они располагаются по окружности аналогично каналам 42а, 42б, 42в и 42г (фиг. 7).

Эти четыре канала 51 не связаны между собой, и каждый из них последовательно соединяется с блоком 30 регулирования давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя 7, установленным с возможностью управления давлением сжатого воздуха в каждом из этих каналов вне зависимости от давлений сжатого воздуха в других каналах и соединенным с устройством 13 подачи сжатого воздуха в аэростатические подшипники и подшипниковые опоры. Каждый из этих каналов имеет датчик давления 43 сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя, выход которого соединен с входом блока 26

контроля давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя 7. В определенных вариантах расчетных нагрузок отверстия 50 могут быть неравномерно распределены по окружности.

Для повышения нагрузочной способности и радиальной жесткости, а также улучшения условий охлаждения шпинделя 7 в средней части шпинделя 7 между диском 37 вала 16 и электродвигателем шпинделя 7 может быть размещен один или несколько, например четыре, аналогичных приведенному выше, связанных или не связанных между собой, радиальных аэростатических подшипников 52, 53, 54 и 55 (фиг. 5). Каждый из аэростатических подшипников 52, 53, 54 и 55 соединен с выполненными в корпусе 18 шпинделя 7 отверстиями, в свою очередь соединенными со связанными или не связанными между собой каналами для подачи сжатого воздуха, каждый из которых соединен с блоком 30 регулирования давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя 7, установленным с возможностью управления давлением сжатого воздуха в каждом из этих каналов вне зависимости от давлений сжатого воздуха в других каналах, при этом блок 30 соединен с устройством 13 подачи сжатого воздуха в аэростатические подшипники и подшипниковые опоры и каждый из каналов имеет датчик давления 43 сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя 7, выход которого соединен с входом блока 26 контроля давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя 7.

Вал 16 с диском 37 в корпусе 18 шпинделя 7 в осевом направлении шпинделя 7 расположены на таком расстоянии друг от друга, чтобы оставался зазор между торцевыми поверхностями 40 и 45 диска 37 вала 16 и ответными им соответствующими торцевыми поверхностями 39 и 44 цилиндрической полости 38 корпуса 18 шпинделя 7, а также между наружной цилиндрической поверхностью 48 вала 16 и ответной ей внутренней цилиндрической поверхностью 49 корпуса 18 шпинделя 7. Отверстия для прохода в них сжа-

того воздуха могут быть неравномерно распределены по окружности и длине внутренней цилиндрической поверхности 49 корпуса 18 шпинделя 7.

Верхняя часть 16б вала 16 установлена в комбинированной опоре, выполненной в виде осевого подшипника скольжения и радиального аэростатического подшипника. Осевой подшипник скольжения этой опоры может быть выполнен в двух вариантах: в виде конусообразной 56 (фиг. 8) или сферической 57 (фиг. 9) поверхности участка верхней части 16б вала 16 шпинделя 7, выполненной из стали с поверхностной твердостью 61...65 HRC, и ответной опорной конусообразной поверхностью 58 втулки 59, жестко связанной с корпусом 18 шпинделя 7 и выполненной из антифрикционного материала, например из железографита, угол конусности которой и наибольший диаметр поверхности 56 или 57 вала 16, установленной с возможностью контакта с ответной конусообразной или сферической поверхностью вала 16, выбирают из соотношения (фиг. 9)

$$\alpha = arctg\frac{d_{mr}(1+[V_c]/[V_{mr}])}{2(L_1+L_2)}, \qquad (1)$$

$$d_p = d_{mr}\frac{[V_c]}{[V_{mr}]}, \qquad (2)$$

где α – угол конусности опорной конусообразной поверхности 58 установленной в корпусе 18 шпинделя 7 втулки 59, выполненной из антифрикционного материала, рад

L_1 – расстояние между наибольшим диаметром d_r опорной конусообразной поверхности 58 корпуса 18 шпинделя 7, контактирующей с ответной конусообразной или сферической поверхностью вала 16 шпинделя 7, и диском 37 вала 16 шпинделя 7 (его серединой по толщине), мм;

L_2 – расстояние между диском 37 вала 16 шпинделя 7 (его серединой по толщине) и нижней плоскостью (не показана) резцовой головки 12, мм;

d – диаметр диска 37, мм;

$[V_c]$ – допустимая скорость скольжения антифрикционного материала, например для железографита $[V_c] = 8...10$ м/с;

$[V_{mr}]$ – минимально скорость резания, выбираемая из условия обеспечения требуемой шероховатости при предварительной (черновой) обработке, принимаемая, например, при использовании инструмента из кубического нитрида бора, $[V_{mr}] = 12...14$ м/с;м/с;

d_{mr} – диаметр установки режущих кромок резцов (не показаны), обеспечиваемый державкой 65 резцовой головки 12, мм.

d_p – наибольший диаметр поверхности 56 или 57 вала 16, установленной с возможностью контакта с ответной конусообразной или сферической поверхностью вала 16 шпинделя 7, мм.

Выбор конусообразной 56 (фиг. 8) или сферической 57 (фиг. 9) поверхности участка верхней части 16а вала 16 шпинделя 7 делается исходя из требований технологичности и объема выпуска обрабатываемых пластин (для создания сферической поверхности может быть использован шарик подшипника).

Соотношение (1) получено исходя из следующего (фиг. 10).

Максимальная скорость скольжения при функционировании опоры скольжения шпинделя 7 определяется соотношением

$$V_c = \frac{\pi d_p n}{60} \le [V_c], \qquad (3)$$

где V_c – максимальная скорость скольжения в опоре скольжения шпинделя 7, м/с;

$\pi = 3{,}1415...$;

n – частота вращения вала 16 шпинделя 7, об/мин.

Скорость резания определяется из зависимости

$$V_r = \frac{\pi d_{mr} n}{60} \geq [V_{mr}]. \qquad (4)$$

Отсюда

$$d_p = d_{mr} \frac{[V_c]}{[V_{mr}]}. \qquad (5)$$

Так как

$$\frac{d_{mr}}{d_p} = \frac{L_1 + L_2 - l}{l}, \qquad (6)$$

где l – параметр расчетной схемы на фиг.10, мм,

то с учетом того, что в рассматриваемой конструкции для исключения проскальзывания при взаимодействии со сферической поверхностью 57 опорная конусообразная поверхность 58 втулки 59 корпуса 18 шпинделя 7 размещена под углом 90° к линии, соединяющей диаметр d_{mr} установки режущих кромок резцов с диаметром d_p (как показано на фиг. 10)

$$l = \frac{L_1 + L_2}{1 + d_{mr}/d_p} = \frac{d_p}{2tg\alpha}, \qquad (7)$$

и

$$\alpha = arctg \frac{d_p(1 + [V_{mr}]/[V_c])}{2(L_1 + L_2)}, \qquad (8)$$

или

$$\alpha = arctg \frac{d_{mr}(1 + [V_c]/[V_{mr}])}{2(L_1 + L_2)}. \qquad (9)$$

Так, например, при расчетном максимальном давлении в зоне контакта опорного подшипника скольжения в процессе прецизионной лезвийной обработки 1,2 МПа и допустимой для смазываемой пары трения «сталь с поверхностью 61-65 HRC – бронзографит» характеристике $[pV]$= 10 МПа·м/с величина $[V_c]$ = 8,3 м/с. Как это было отмечено выше, минимально допусти-

мая, из условия обеспечения минимально возможной шероховатости при предварительной (черновой) обработке, скорость резания при планаризации медного слоя инструментом из кубического нитрида бора, $[V_{mr}]$ = 12…14 м/с. Тогда при диаметре d_{mr} установки режущей кромки резца d_{mr} = 220 мм

$$d_p = d_{mr}\frac{[V_c]}{[V_{mr}]} = 130 \text{ мм.}$$

Тогда при L_1 = 280 мм и L_2 = 130 мм угол α равен

$$\alpha = arctg\frac{d_{mr}(1+[V_c]/[V_{mr}])}{2(L_1+L_2)} = 23°.$$

Радиальный аэростатический подшипник расположен над электродвигателем и образован размещенными с зазором 30-50 мкм наружной цилиндрической поверхностью 60 верхней части 16б вала 16 шпинделя 7 и ответной ей внутренней цилиндрической поверхностью 61 корпуса 18 шпинделя 7, снабженного радиальными отверстиями 62 для прохода сжатого воздуха, распределенными по меньшей мере по одной окружности и соединенными с по меньшей мере одним каналом, последовательно соединенным с блоком 30 регулирования давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя 7 и устройством 13 подачи сжатого воздуха в аэростатические подшипники и подшипниковые опоры. Аэростатический подшипник снабжен по меньшей мере одним датчиком 43 давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя 7, соединенным с блоком 26 контроля давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя 7.

Шпиндель 7 установлен с возможностью вращения вала 16 в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах или в расположенном в верхней части 16б вала 16 шпинделя 7 подшипнике скольжения и расположенных в нижней части 16а вала 16 аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах.

Вал 16 шпинделя 7 выполнен с полостью 63 для охлаждающей жидкости, последовательно соединенной с блоком 32 регулирования объема подачи

охлаждающей жидкости и устройством 14 подачи охлаждающей жидкости в шпиндель 7 (фиг. 4) Для стабилизации режима смазки подшипников скольжения используются кольцевые уплотнения 64 (фиг. 8 и фиг. 9).

Размещенная на шпинделе 7 резцовая головка 12 выполнена с диаметром D, превышающим диаметр диска 37 вала 16 шпинделя 7 и диаметр D_p планшайбы 11. Она снабжена двумя диаметрально расположенными резцовыми державками 65 и 66 (фиг. 11), установленными с возможностью их поворота вокруг горизонтальных осей q и расположения режущих кромок резцов (на показаны) на диаметре d_{mr}, превышающем диаметр планшайбы 11, при этом одна державка, например 65, установлена с возможностью крепления режущего инструмента, а вторая, например 66, – с возможностью балансировки резцовой головки 12.

Станок снабжен:

– бесконтактными датчиками 67 вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z вала 16 шпинделя 7 относительно его корпуса 18, выходы которых соединены с соответствующими входами блока 22 контроля вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z вала 16 шпинделя 7 относительно его корпуса 18;

– бесконтактными датчиками 68 горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y нижней части 16а вала 16 шпинделя 7 относительно его корпуса 18, выходы которых соединены с соответствующими входами блока 23 контроля горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y нижней части 16а вала 16 шпинделя 7 относительно его корпуса 18;

– бесконтактными датчиками 69 горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y верхней части 16б вала 16 шпинделя 7, выходы которых соединены с соответствующими входами блока 24 контроля горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y верхней части 16б вала 16 шпинделя 7 относительно его корпуса 18;

– бесконтактными датчиками 70 вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z и горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и

Y планшайбы 11 относительно стола 5, выходы которых соединены с соответствующими входами блока 25 контроля вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z и горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y планшайбы 11 относительно стола 5.

Датчики выполнены в виде установленных с возможностью бесконтактного взаимодействия постоянных магнитов (не показаны) и датчиков Холла (не показаны). Постоянные магниты размещены на валу 16 шпинделя и планшайбе 11, а датчики Холла установлены соответственно в корпусе 18 шпинделя 7 и в столе 5 с возможностью регулирования, например посредством микровинтового соединения (не показано), расстояния между ними и постоянными магнитами от 0,5 до 9 мм.

Наружная поверхность 71 планшайбы 11, обращенной к резцовой головке 12, выполнена из пористого материала, например пористой керамики и имеет вакуумные присоски 72 (фиг. 12) для крепления обрабатываемых пластин (не показаны).

Дополнительный многоканальный контроллер 10 выполнен на базе микрокомпьютера с внутренней памятью и имеет по меньшей мере десять цифровых и аналоговых входов с АЦП и пять выходов с ЦАП (фиг. 4).

Первые вход и выход дополнительного многоканального контроллера 10 соединены с 1-ми выходом и входом ЧПУ 9 (фиг. 4), 2-й вход соединен с выходом блока 22, 3-й вход соединен с выходом блока 23, 4-й вход соединен с выходом блока 24, 5-й вход соединен с выходом блока 25, 6-й вход соединен выходом блока 26, 7-й вход соединен выходом блока 27, 8-й вход соединен с выходом блока 28, 9-й вход соединен с выходом блока 29, 10-й вход соединен с 1-м выходом вычислительного средства 73, 2-й выход соединен с входом блока 30, 3-й выход соединен с входом блока 31, 4-й выход соединен с входом блока 32, 5-й выход соединен с входом блока 33, 6-й выход соединен с 1-м входом вычислительного средства 73.

У ЧПУ 9 2-й вход соединен с выходом блока 74 контроля частоты вращения шпинделя 7, 3-й вход ЧПУ 9 соединен с выходом блока 75 контроля

перемещений стола 5 вдоль оси Z, 4-й вход ЧПУ 9 соединен со 2-м выходом вычислительного средства 73, 2-й выход ЧПУ 9 соединен с магнитоэлектрическими модулями 17 двигателя шпинделя 7, 3-й выход ЧПУ 9 соединен с дополнительным приводом 19 вращения планшайбы 11 (фиг.4), 4-й выход ЧПУ 9 соединен с дополнительным приводом 20 вертикальной подачи стола 5 вдоль оси Z (фиг.4), 5-й выход ЧПУ 9 соединен с приводом 21 перемещения стола 5 вдоль оси X, 6-й выход ЧПУ 9 соединен с устройством 13 подачи сжатого воздуха в аэростатические подшипники и подшипниковые опоры, 7-й выход ЧПУ 9 соединен с устройством 14 подачи охлаждающей жидкости в шпиндель 7, 8-й выход ЧПУ 9 соединен со 2-м входом вычислительного средства 73, 3-й выход которого соединен с входом средства отображения 76.

Вертикальный прецизионный станок с ЧПУ работает следующим образом:

– резец с режущей пластиной из кубического нитрида бора (не показан) устанавливается в резцовую державку 65 (фиг. 3) резцовой головки 12, а в диаметрально противоположную резцовую державку 66 размещается идентичный по массе элемент (не показан) для балансировки, после чего:

• ЧПУ 9 через 6-й выход включает устройство 13 подачи сжатого воздуха в аэростатические подшипники и подшипниковые опоры установленного на кронштейне 8 поперечной балки 4 и жестко связанного с ней шпинделя 7, при этом сигналы с датчиков 43 о давлении этого сжатого воздуха в этих опорах поступают в блок 26, где они предварительно обрабатываются, передаются в дополнительный многоканальный контроллер 10 через его 6-й вход, где окончательно обрабатываются и через 5-й выход передаются на 1-й вход вычислительного средства 73;

• в вычислительном средстве 73 величины давлений сравниваются с эталонными и, при их несовпадении, через 1-й выход дается команда на их корректировку, которая поступает на 10-й вход дополнительного многоканального контролера 10, где преобразуется и через 2-й выход передается в блок 30, посредством которого устанавливаются требуемые параметры дав-

ления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя 7;

• вал 16 шпинделя 7 приводится во вращение с максимальной частотой вращения, в процессе которого с бесконтактных датчиков 68 горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y нижней части вала 16 информация о положении и колебаниях его оси поступает в блок 23 контроля горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y нижней части 16а вала 16 шпинделя 7, откуда она передается на 3-й вход дополнительного многоканального контроллера 10, где предварительно обрабатывается и через 6-й выход передается на вычислительное средство 73, в которой осуществляется их окончательная обработка с расчетом необходимой величины коррекции массы элемента для балансировки (не показан) резцовой головки 12 и величина этой массы через 3-й выход вычислительного средства 73 передается на средство отображения 76 (монитор), где визуализируется;

• после этого шпиндель 7 останавливается, ЧПУ 9 выключается подача сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя 7 и осуществляется корректировка массы элемента для балансировки резцовой головки 12;

– заготовка в виде плоской пластины (не показана) устанавливается на наружной поверхности 71 планшайбы 11 и фиксируется на ней вакуумными присосками 72;

– стол 5 дополнительным управляемым через 4-й выход ЧПУ 9 приводом 20 (фиг. 4) поднимется вверх на расстояние 1-1,5 мм обрабатываемой поверхности от режущей кромки резца (не показан), которое контролируется ЧПУ 9 посредством связанного с его 3-м входом блоком 75 контроля перемещений стола вдоль оси Z с использованием установленного в нем технического зрения (не показано);

– ЧПУ 9 через 6-й выход включает устройство 13 подачи сжатого воздуха в аэростатические подшипники и подшипниковые опоры и через 7-й выход включает устройство 14 подачи охлаждающей жидкости в шпиндель

7, одновременно с этим ЧПУ 9 через 1-й выход дает команду на 1-й вход дополнительного многоканального контроллера 10, в который с датчиков 36 и 43 давления сжатого воздуха через соответственно блоки 26 и 27 на 6-й и 7-й входы поступают данные о давлении сжатого воздуха, которые передаются через его 6-й выход на вычислительное средство 73, где сравниваются с эталонными и формируются команды на их корректировку, которые передаются через 1-й выход на 10-й вход дополнительного многоканального контроллера 10, откуда через 2-й и 3-й выходы передаются в блоки 30 и 31 регулирования давления соответственно в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя 7 и подшипниковых опорах планшайбы 11, обеспечивающие установку требуемых величин давлений сжатого воздуха;

– при черновой обработке дополнительным приводом 19, управляемым связанным с ним через 3-й выход ЧПУ 9, планшайба 11 приводится во вращение с заданной угловой скоростью на опорах скольжения, при чистовой обработке блоком 31 устанавливается требуемое давление в подшипниковых опорах планшайбы 11 и после этого дополнительным приводом 19, связанным с ним через 3-й выход ЧПУ 9, планшайба 11 приводится во вращение с заданной угловой скоростью на аэростатических опорах;

– ЧПУ 9 включаются магнитоэлектрические модули 17 привода вращения шпинделя 7, связанные с ним через 2-й выход ЧПУ 9, и устанавливается требуемая частота вращения шпинделя 7, величина которой контролируется блоком контроля 74, выход которого связан со 2-м входом ЧПУ 9;

– дополнительным приводом 20 осуществляется рабочая подача планшайбы 11 вверх вдоль оси Z, обеспечивающая обработку (планаризацию) поверхности пластины, при этом:

• бесконтактными датчиками 67, 68, 69 и 70 осуществляется регистрация информации о перемещениях и амплитудах колебаний соответственно вала 16 шпинделя 7 в вертикальном направлении вдоль оси Z, его нижней 16а и верхней 16 б частей в горизонтальном направлении вдоль осей X и Y и планшайбы 11 в вертикальном направлении вдоль оси Z, при этом:

а) регистрируемая с датчиков 67-70 информация поступает соответственно в блоки контроля 22, 23 24 и 25, где предварительно обрабатывается и передается через соответственно 2-й, 3-й, 4-й и 5-й входы в дополнительный многоканальный контроллер 10, где проходит окончательную обработку;

б) затем с дополнительного многоканального контроллера 10 через 5-й выход обработанная информация передается на 1-й вход вычислительного средства 73, в котором полученные значения перемещений и амплитуд колебаний сравнивается с заданными или эталонными и определяется наличие или отсутствие механических колебаний с собственными частотами;

в) при наличии недопустимых перемещений вала 16 относительно корпуса 18 шпинделя 7 и (или) величин амплитуд механических колебаний вала 16 относительно корпуса 18 шпинделя 7 с собственными частотами вычислительным средством 73 формируются команды с требуемыми параметрами корректировки:

* давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах для изменения их жесткости и связанных с жесткостью частот собственных механических колебаний;

* частоты вращения шпинделя 7 для его выхода из резонансных зон,

при этом эти команды через 1-й выход передаются на 10-й вход дополнительного многоканального контроллера 10, где преобразуются в требуемый вид;

г) из дополнительного многоканального контроллера 10 преобразованные в требуемый вид команды об изменении давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах через 2-й и 3-й выходы передается в соответственно в блоки 30 и 31 регулирования давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя 7 и планшайбы 11, которые изменяют величины давлений сжатого воздуха, при этом контроль величин давления осуществляется датчиками давления 36 и 43, с которых регистрируемая информация поступает в блоки 26 и 27, откуда передается через 6-й и 7-й входы в дополнительный многока-

нальный контроллер 10 и после ее обработки через его 5-й выход передается на 1-й вход вычислительного средства 73, где анализируется и при необходимости корректируется;

д) из дополнительного многоканального контроллера 10 преобразованная в требуемый вид команда об изменении частоты вращения вала 16 шпинделя 7 через 1-й выход передается в ЧПУ 9, откуда через 2-й выход сформированные параметры электропитания, обеспечивающие требуемую в соответствии с корректированной величиной частоты вращения шпинделя 7, передаются на его магнитоэлектрические модули 17, при этом блоком контроля 74 осуществляется контроль частоты вращения шпинделя 7, с которого регистрируемая информация передается на 2-й вход в ЧПУ 9 для введения, при необходимости, корректировки и поддержания требуемой частоты вращения шпинделя 7, что в совокупности с корректировкой давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах обеспечивает автоматизированное перемещение вала 16 двигателя;

е) блоками контроля 28 и 29 определяются температуры охлаждающей жидкости и корпуса 18 шпинделя 7, информация о величинах которых поступает в дополнительный многоканальный контроллер 10, откуда, после обработки, через 5-й выход передается на 1-й вход вычислительного средства 73, где анализируется, после чего, при необходимости, в нем формируется команда на корректировку объема поступающей в шпиндель 7 охлаждающей жидкости, затем эта команда через 1-й выход вычислительного средства 73 передается на 10-й вход дополнительного многоканального контроллера 10 и оттуда, после обработки, через 1-й выход передается на 1-й вход ЧПУ 9, которое управлением через 7-й выход устройством 14, состоящим из ПЧС (не показан) и насоса (не показан), осуществляет корректировку частоты вращения насоса и его производительности, вследствие чего изменяется температура шпинделя 7;

– при планаризации пластины при чистовой обработке приводом 21, управляемым ЧПУ 9 через 5-й выход, осуществляется ее перемещение между закрепленными на станине 1 вертикальными стойками 2 и 3 вдоль оси X;

– после завершения обработки стол 5 дополнительным управляемым через 4-й выход ЧПУ 9 приводом 20 (фиг. 4) опускается вниз вдоль оси Z, после чего останавливается вращение шпинделя 7 и планшайбы 11, вакуумные присоски 72 выключаются и обработанная пластина снимается с планшайбы.

При обработке плоских поверхностей на вертикальном станке с ЧПУ, приведенным выше, обрабатываемая пластина (не показана) устанавливается на наружной поверхности 71 планшайбы 11 станка и фиксируется на ней вакуумными присосками 72, после чего осуществляется:

– черновая обработка поверхности пластины при вращении вала 16 шпинделя 7 в расположенном в верхней части вала 16б шпинделя 7 подшипнике скольжения и расположенных в нижней части вала 16а аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах, сжатый воздух в которые поступает через блок регулирования 30 от устройства 13, и вращении от привода 19 планшайбы 11 на подшипнике скольжения, что обеспечивает повышенную жесткость системы СПИД, при этом осуществляют контроль давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и опорах шпинделя 7 с использованием датчиков 43 и блока 26 и его регулирование с использованием блока 30, контроль перемещений и колебаний вала 16 шпинделя 7 относительно его корпуса 18 осуществляется с использованием бесконтактных датчиков 67 и 68 и блоков соответственно 22 и 23 и регулирование положения его нижней части 16а с использованием блока 30, а черновую обработку осуществляют при частоте вращения шпинделя 7, соответствующей скорости резания 750-800 м/мин со снятием припуска 0,4-0,8 мм, обеспечиваемого вертикальной подачей стола 5 приводом 20 вдоль оси Z;

– чистовая обработка, для чего вал 16 шпинделя 7 и планшайба 11 устанавливаются в аэростатические подшипники и подшипниковые опоры, что

обеспечивает повышенную плавность функционирования системы СПИД, при этом осуществляют контроль давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и опорах шпинделя 7 и планшайбы 11 с использованием датчиков 36 и 43 и соответственно блоков 27 и 26 и его регулирование с использованием блоков 30 и 31, контроль перемещений и колебаний вала 16 шпинделя 7 относительно его корпуса 18 с использованием бесконтактных датчиков 67 и 68 и блоков соответственно 22 и 23, регулирование положения вала 16 с использованием блока 30, а чистовую обработку осуществляют с обеспечиваемой частотой вращения шпинделя 7 скоростью резания более 1200 м/мин со снятием припуска менее 0,2 мм, обеспечиваемым вертикальной подачей стола 5 приводом 20.

При черновой и чистовой обработках осуществляют управление тепловыми режимами функционирования системы СПИД, скоростью резания, частотой колебаний режущего инструмента и припуском на обработку. Обработка осуществляется однолезвийным алмазным или алмазоподобным инструментом, например из кубического нитрида бора.

Пример реализации способа обработки.

На вертикальном прецизионном станке с ЧПУ с приведенной выше конструкцией была осуществлена высокоскоростная обработка плоской поверхности медной пластины 200x200 мм. При этом:

– резцовая головка 12 была установлена в шпиндель 7 и жестко зафиксирована в нем;

– однолезвийный инструмент на основе кубического нитрида бора был установлен в державку 65 резцовой головки 12, а в державку 66 установлен аналогичный по массе технологический элемент (не показан), в аэростатические подшипники и подшипниковые опоры шпинделя 7 был подан сжатый воздух, шпиндель 7 приведен во вращение с частотой 3000 об/мин, с использованием бесконтактных датчиков 68 и 69 была зарегистрирована информация о смещении относительно корпуса 18 нижней 16а и верхней 16б частей вала 16 шпинделя 7 в горизонтальной плоскости вдоль осей X и Y, которая,

после предварительной обработки в блоках соответственно 23 и 24 была передана через 3-й и 4-й входы в дополнительный многоканальный контроллер 10, с которого после окончательной обработки через 5-й выход дополнительного многоканального контроллера 10 поступила в вычислительное средство 73 на его 1-й вход, где была автоматически обработана с использованием специальных алгоритмов с определением величины корректировки массы технологического элемента и выводом этой информации на средство отображения 76, после чего станок был остановлен, масса технологического элемента скорректирована, он был установлен в державку 66, станок запущен и осуществлен съем и обработка диагностической информации о параметрах смещений вала 16 шпинделя 7 относительно корпуса 18, подтвердившие эффективность проведенной балансировки резцовой головки 12;

– обрабатываемая квадратная 200x200 мм медная плоская пластина толщиной 3 мм устанавливалась на наружной поверхности 71 планшайбы 11 стола 5 и фиксировалась на ней вакуумной присоской 72;

– включалась подача сжатого воздуха из устройства 13 (цеховой пневмосети) в аэростатические подшипники и подшипниковые опоры нижней части вала 16а шпинделя 7, при этом датчиками давления 43 с использованием блока 26 измерялось давление сжатого воздуха в них и с использованием бесконтактных датчиков 67, 68 и блоков 22, 23 определялось положение оси вала 16 шпинделя 7, после чего он перемещался дополнительным многоканальным контроллером 10 вверх до контакта поверхностей 57 и 58 шпинделя 7 и ЧПУ 9 включались магнитоэлектрические модули 17, обеспечивающие вращение шпинделя 7 с частотой 1150 об/мин и скорость резания лезвийной обработкой ~800 м/мин (контроль частоты вращения шпинделя 7 осуществлялся ЧПУ 9 с помощью блока 74), затем включались вращение планшайбы 11 приводом 19 (20 об/мин) и вертикальная подача стола 5 приводом 20 и, после касания резцом обрабатываемой пластины, осуществлялось срезание металла в три перехода по 0,4; 0,3 и 0,2 мм;

– затем стол 5 опускался на 0,5 мм, дополнительным многоканальным контроллером 10 вал 16 шпинделя 7 и планшайба 11 устанавливались на аэростатические подшипники и опоры, проверялось их положение, частота вращения шпинделя 7 увеличивалась до 2000 об/мин (скорость резания ~1400 м/мин), стол 5 подводился к резцовой головке 12, при касании резца обрабатываемой пластины осуществлялся контроль колебаний вала 16 шпинделя 7. После того как было установлено отсутствие резонансных колебаний осуществлялась чистовая обработка пластины со снятием припуска 0,1 мм. В процессе чистовой обработки контролировалась и поддерживалась температура шпинделя 20±1°С и, управлением жесткостью аэростатических подшипниковых опор и варьированием скоростью вращения, допустимый уровень колебаний вала шпинделя.

Погрешность формы обработанной поверхности не превысила ±1 мкм, шероховатость – 20 нм.

Применение заявляемого изобретения позволит существенно повысить качество и точность обработки, снизить шероховатость при обработке плоских поверхностей деталей, изготавливаемых на технологическом прецизионном оборудовании точного машиностроения (в электронной промышленности, медицине и т.п.).

Перечень обозначений.

1– станина;

2 и 3 – стойки вертикальные;

4 – поперечная балка;

5 – стол;

6 – направляющие;

7 – шпиндель;

8 – кронштейн;

9 – ЧПУ;

10 – дополнительный многоканальный контроллер;

11 – планшайба;

12 – резцовая головка;

13 – устройство подачи сжатого воздуха в аэростатические подшипники и подшипниковые опоры;

14 – устройство подачи охлаждающей жидкости в шпиндель;

15 – постоянные магниты;

16 – вал шпинделя 7;

17 – магнитоэлектрические модули двигателя шпинделя 7;

18 – корпус шпинделя 7;

19 – дополнительный привод вращения планшайбы 11;

20 – дополнительный привод вертикальной подачи стола 5 вдоль оси Z;

21 – привод перемещения стола 5 вдоль оси X;

22 – блок контроля вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z вала 16 шпинделя 7относительно его корпуса 18;

23 – блок контроля горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y нижней части 16а вала 16 шпинделя 7 относительно его корпуса 18;

24 – блок контроля горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y верхней части 16б вала 16 шпинделя 7 относительно его корпуса 18;

25 – блок контроля вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z и горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y планшайбы 11 относительно стола 5;

26 – блок контроля давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя 7;

27 – блок контроля давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниковых опорах планшайбы 11;

28 – блок контроля температуры охлаждающей жидкости;

29 – блок контроля температуры корпуса шпинделя 7;

30 – блок регулирования давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя 7;

31 – блок регулирования давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниковых опорах планшайбы 11;

32 – блок регулирования объема подачи охлаждающей жидкости;

33 – винты крепления верхней и нижней частей сборного вала 16 шпинделя 7;

34 – пористая керамика;

35 – полости в столе 5;

36 – датчики давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниковых опорах планшайбы 11;

37 – диск вала 16 шпинделя 7;

38 – цилиндрическая полость в корпусе 18 шпинделя 7;

39 - нижняя торцевая поверхность цилиндрической полости 38 в корпусе 18 шпинделя 7;

40 – нижняя торцевая поверхность диска 37 вала 16 шпинделя 7;

41 – отверстия в корпусе 18 шпинделя 7 для прохода сжатого воздуха к торцевой поверхности 39;

42 – каналы в корпусе 18 шпинделя 7 (четыре несвязанных между собой канала 42а, 42б, 42в, 42г) для подачи сжатого воздуха к нижней торцевой поверхности 40 диска 37 вала 16 шпинделя 7;

43 – датчики давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя 7;

44 – верхняя торцевая поверхность цилиндрической полости 38 в корпусе 18 шпинделя 7;

45 – верхняя торцевая поверхность диска 37 вала 16 шпинделя 7;

46 – отверстия верхней торцевой поверхности корпуса 18 шпинделя 7 для прохода сжатого воздуха;

47 – кольцевой канал в корпусе 18 шпинделя 7;

48 – цилиндрическая поверхность нижней части 16а вала 16 шпинделя 7;

49 – цилиндрическая поверхность корпуса 18 шпинделя 7;

50 – отверстия в корпусе 18 шпинделя 7 для прохода сжатого воздуха;

51 – каналы в корпусе 18 шпинделя 7 для подачи сжатого воздуха в радиальные аэростатические подшипники;

52, 53, 54 и 55 - радиальные аэростатические подшипники;

56, 57 – соответственно конусообразная и сферическая поверхности участка верхней части 16 б вала 16 шпинделя 7;

58 – опорная конусообразная поверхность втулки 59 корпуса 18 шпинделя 7, выполненной из антифрикционного материала, например из железографита и жестко связанной с корпусом 18;

59 – втулка, выполненная из антифрикционного материала;

60 – наружная цилиндрическая поверхность верхней части 16б шпинделя 7;

61 – внутренняя цилиндрическая поверхность корпуса 18 шпинделя 7;

62 – радиальные отверстия для прохода сжатого воздуха;

63 – полость на валу 16 шпинделя 7 для охлаждающей жидкости;

64 – кольцевые уплотнения;

65, 66 – диаметрально расположенные резцовые державки резцовой головки 12;

67 – бесконтактные датчики вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z вала 16 шпинделя 7 относительно его корпуса 18;

68 – бесконтактные датчики горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y нижней части 16а вала 16 шпинделя 7 относительно его корпуса 18;

69 – бесконтактные датчики горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y верхней части вала 16 шпинделя 7 относительно его корпуса 18;

70 – бесконтактные датчики вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z и горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y планшайбы 11 относительно стола 5;

71 – наружная поверхность планшайбы 11;

72 – вакуумные присоски;

73 – вычислительное средство;

74 – блок контроля частоты вращения шпинделя 7;

75 – блок контроля перемещения стола 5 вдоль оси Z,

76 – средство отображения.

1. Патент на полезную модель RU № 63729 МПК B23C 1/06

2. Патент RU № 168927 U1 МПК B23B 35/00, B23C 1/06)

Формула изобретения

1. Вертикальный прецизионный станок с числовым программным управлением (ЧПУ), содержащий станину (1), арочную конструкцию, сформированную двумя вертикальными стойками (2, 3), прикрепленными к станине (1) и соединенными между собой поперечной балкой (4), стол (5), установленный между двумя вертикальными стойками (2, 3) с возможностью возвратно-поступательного перемещения в горизонтальном направлении вдоль оси X и соединенный с приводом горизонтальной подачи стола (5), шпиндель (7), установленный на поперечной балке (4) и соединенный с приводом его вращения, *отличающийся тем, что* в ЧПУ (9) станка установлен дополнительный многоканальный контроллер (10) и станок снабжен планшайбой (11), расположенной на столе (5) с возможностью программно-управляемого вращения в по меньшей мере одной аэростатической подшипниковой опоре и соединенной с дополнительно установленным приводом (19) вращения планшайбы (11), который соединен с ЧПУ (9), резцовой головкой (12), жестко закрепленной на шпинделе (7), в котором, по меньшей мере, одна опора выполнена аэростатической, устройством (13) подачи сжатого воздуха в аэростатические подшипники и подшипниковые опоры, устройством (14) подачи охлаждающей жидкости в шпиндель (7), а привод вращения шпинделя (7) выполнен в виде электродвигателя, в котором постоянные магниты (15) жестко закреплены на валу (16) шпинделя (7), а магнитоэлектрические модули (17) жестко закреплены в корпусе (18) шпинделя (7) и соединены с ЧПУ (9), при этом вал (16) шпинделя (7) выполнен с полостью (63) для охлаждающей жидкости, соединенной с устройством (14) подачи охлаждающей жидкости, и станок дополнительно снабжен дополнительным приводом (20) вертикальной подачи стола (5) вдоль оси Z, соединенным с ЧПУ и установленным с возможностью вертикального возвратно-поступательного перемещения стола (5) вдоль оси Z, блоками контроля, соединенными выходами с

соответствующими входами дополнительного многоканального контроллера (10) и включающими: блок контроля (22) вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z вала (16) шпинделя (7) относительно его корпуса (18); блок контроля (23) горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y нижней части (16а) вала (16) шпинделя (7) относительно его корпуса (18); блок контроля (24) горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y верхней части (16б) вала (16) шпинделя (7) относительно его корпуса (18); блок контроля (25) вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z и горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y планшайбы (11) относительно стола (5); блок контроля (26) давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя (7); блок контроля (27) давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниковых опорах планшайбы (11); блок контроля (28) температуры охлаждающей жидкости; блок контроля (29) температуры корпуса (18) шпинделя (7), а также блоками регулирования, соединенными входами с соответствующими выходами дополнительного многоканального контроллера (10) и включающими: блок регулирования (30) давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя (7); блок регулирования (31) давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниковых опорах планшайбы (11); блок регулирования (32) объема подачи охлаждающей жидкости.

2. Станок по п.1, отличающийся тем, что аэростатическая подшипниковая опора планшайбы (11) выполнена комбинированной в виде подшипника скольжения и аэростатической подшипниковой опоры, расположена между обращенными друг к другу поверхностями стола (5) и планшайбы (11) и снабжена по меньшей мере одним датчиком давления сжатого воздуха (36), соединенным с блоком контроля (27) давления сжатого воздуха в аэростатической подшипниковой опоре планшайбы (11), при этом планшайба (11) установлена с возможностью вращения на аэростатической подшипниковой опоре или подшипнике скольжения, причем на ее

поверхности (71), обращенной к резцовой головке (12), выполнены из пористого материала, например пористой керамики (34), вакуумные присоски (72) для крепления обрабатываемых пластин.

3. Станок по п.1 или п.2, отличающийся тем, что вал (16) шпинделя (7) выполнен с расположенным в его нижней части диском (37), диаметр которого превышает диаметр вала (16), а в корпусе (18) шпинделя (7) выполнена ответная диску (37) цилиндрическая полость (38), при этом опора, в которой установлена нижняя часть вала (16), выполнена комбинированной в виде по меньшей одной осевой аэростатической подшипниковой опоры и по меньшей мере одного радиального аэростатического подшипника, где осевая аэростатическая подшипниковая опора образована торцевой поверхностью (40) диска (37) вала (16) и ответной ей торцевой поверхностью (39) цилиндрической полости (38) корпуса (18) шпинделя (7), снабженного осевыми отверстиями (41) для прохода сжатого воздуха, распределенными по окружности и сообщающимися по меньшей мере с одним каналом (42) в корпусе (18) шпинделя (7), последовательно соединенным с блоком регулирования (30) давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя и устройством подачи (13) сжатого воздуха, а радиальный аэростатический подшипник шпинделя (7) образован наружной цилиндрической поверхностью (48) вала (16) и ответной ей внутренней цилиндрической поверхностью (49) корпуса (18) шпинделя (7), снабженной радиальными отверстиями (50) для прохода воздуха, распределенными по окружности и длине внутренней цилиндрической поверхности (49) корпуса (18) шпинделя (7) и сообщающимися по меньшей мере с одним каналом (51) в корпусе (18) шпинделя (7), соединенным последовательно с блоком регулирования (30) давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя (7) и устройством подачи (13) сжатого воздуха, причем опора, расположенная в верхней части шпинделя (7), выполнена комбинированной в виде осевого подшипника скольжения, образованного конусообразной (56) или

сферической (57) поверхностью участка вала (16) шпинделя (7), выполненной из стали с поверхностной твердостью 61…65 HRC, и опорной конусообразной поверхностью (58) установленной в корпусе (18) втулки (59), выполненной из антифрикционного материала, например железографита, угол конусности которой и наибольший диаметр конусообразной поверхности (58), установленной с возможностью контакта с ответной конусообразной (56) или сферической (57) поверхностью вала (16) выбирают из соотношения

$$\alpha = arctg\frac{d_{mr}(1+[V_c]/[V_{mr}])}{2(L_1+L_2)}, \qquad (1))$$

$$d_p = d_{mr}\frac{[V_c]}{[V_{mr}]}, \qquad (2)$$

где α – угол конусности опорной конусообразной поверхности (58) установленной в корпусе (18) шпинделя (7) втулки (59), выполненной из антифрикционного материала, рад;

L_1 – расстояние между наибольшим диаметром d_r опорной конусообразной поверхности (58) корпуса (18) шпинделя (7), контактирующей с ответной конусообразной (56) или сферической (57) поверхностью вала (16) шпинделя (7), и диском (37) вала (16) шпинделя (7) (его серединой по толщине), мм;

L_2 – расстояние между диском (37) вала (16) шпинделя (7) (его серединой по толщине) и нижней плоскостью резцовой головки (12), мм;

d – диаметр диска (37), мм;

$[V_c]$ – допустимая скорость скольжения антифрикционного материала, м/с;

$[V_{mr}]$ – минимально скорость резания, выбираемая из условия обеспечения требуемой шероховатости при предварительной (черновой) обработке, м/с;

d_{mr} – диаметр установки режущих кромок резцов (не показаны), обеспечиваемый державкой резцовой головки (12), мм;

d_p – наибольший диаметр опорной конусообразной поверхности (58) установленной в корпусе (18) шпинделя (7) втулки (59), установленной с возможностью контакта с ответной конусообразной (56) или сферической (57) поверхностью вала (16) шпинделя (7), мм,

и радиального аэростатического подшипника, расположенного над электродвигателем и образованного наружной цилиндрической поверхностью (60) вала (16) шпинделя (7) и ответной ей внутренней цилиндрической поверхностью (61) корпуса (18) шпинделя (7), снабженного радиальными отверстиями (62) для прохода сжатого воздуха, распределенными по меньшей мере по одной окружности и связанными по меньшей мере с одним каналом, последовательно соединенным с блоком регулирования (30) давления сжатого воздуха и устройством подачи (13) сжатого воздуха, при этом каждый из указанных аэростатических подшипников снабжен по меньшей мере одним датчиком давления (43) сжатого воздуха, соединенным с блоком контроля (26) давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках шпинделя (7) и шпиндель (7) установлен с возможностью вращения его вала (16) в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах или в расположенном в верхней части (16б) вала (16) шпинделя (7) подшипнике скольжения и расположенных в нижней части (16а) вала (16) аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах.

4. Станок по п.3, отличающийся тем, что размещенная на шпинделе (7) резцовая головка (12) выполнена диаметром, превышающем диаметр диска (37) вала (16) шпинделя (7), и снабжена двумя диаметрально

расположенными резцовыми державками (65, 66), установленными с возможностью их поворота вокруг горизонтальной оси и расположения режущих кромок резцов на диаметре d_r, превышающем диаметр планшайбы (11), при этом одна державка установлена с возможностью крепления режущего инструмента, а вторая – с возможностью балансировки резцовой головки (12).

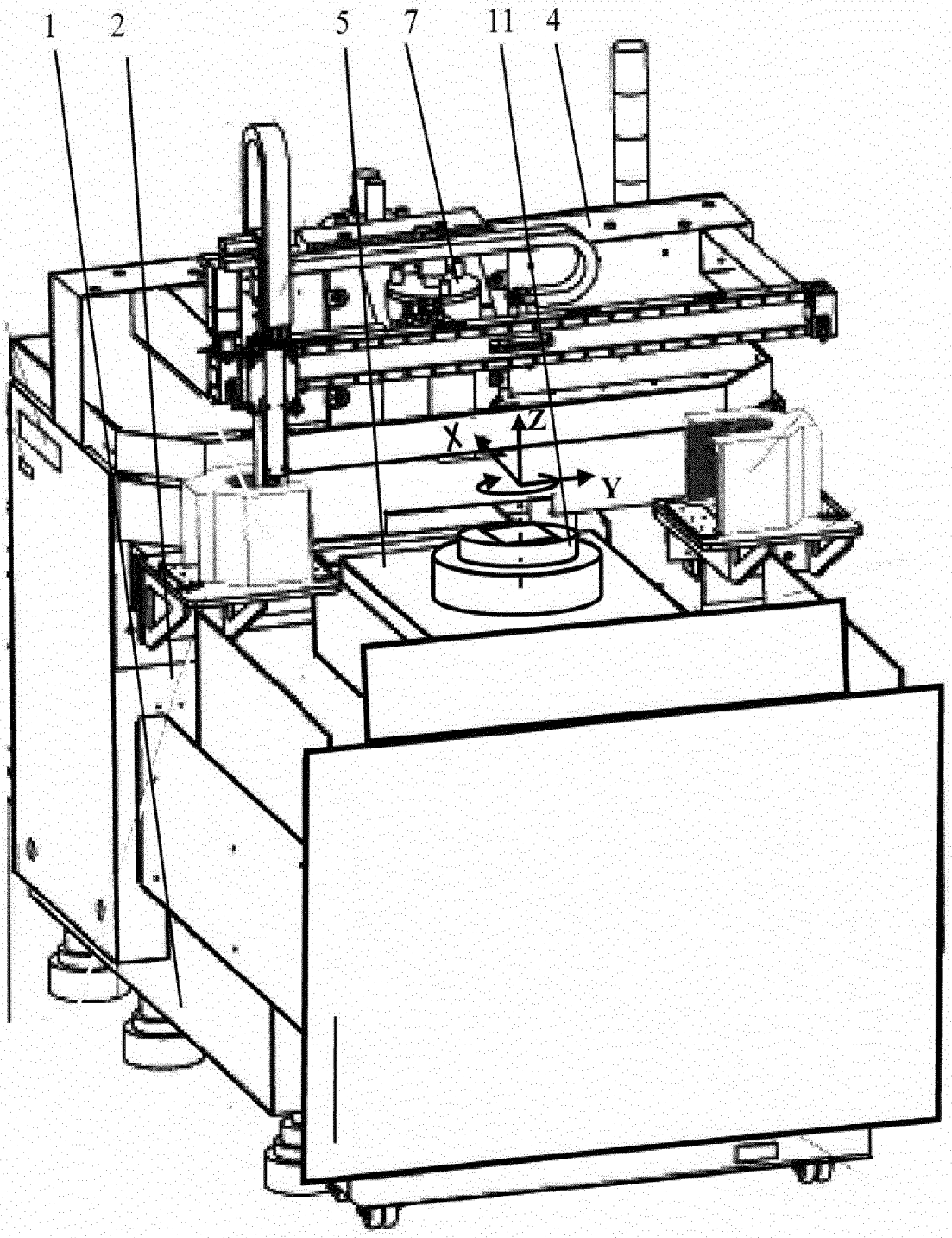
5. Станок по любому из п.1-4, отличающийся тем, что станок снабжен бесконтактными датчиками (67) вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z вала (16) шпинделя (7) относительно его корпуса (18), выходы которых соединены с соответствующими входами с блока контроля (22) вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z вала (16) шпинделя (7) относительно его корпуса (18), бесконтактными датчиками (68) горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y нижней части (16а) вала (16) шпинделя (7) относительно его корпуса (18), выходы которых соединены с соответствующими входами блока контроля (23) горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y нижней части (16а) вала (16) шпинделя (7) относительно его корпуса (18), бесконтактными датчиками (69) горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y верхней части (16б) вала (16) шпинделя (7), выходы которых соединены с соответствующими входами блока контроля (24) горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y верхней части (16б) вала (16) шпинделя (7) относительно его корпуса (18) и бесконтактными датчиками (70) вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z и горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей.X и Y планшайбы (11) относительно стола (5), выходы которых соединены с соответствующими входами блока контроля (25) вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z и горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y планшайбы (11) относительно стола (5), при этом датчики выполнены в виде установленных с возможностью бесконтактного взаимодействия постоянных магнитов и датчиков Холла и постоянные магниты размещены на валу (16) шпинделя

(7) и планшайбе (11), а датчики Холла установлены на корпусе (18) шпинделя (7) и на столе (5) с возможностью регулирования расстояния между ними и постоянными магнитами от 0,5 до 9 мм.

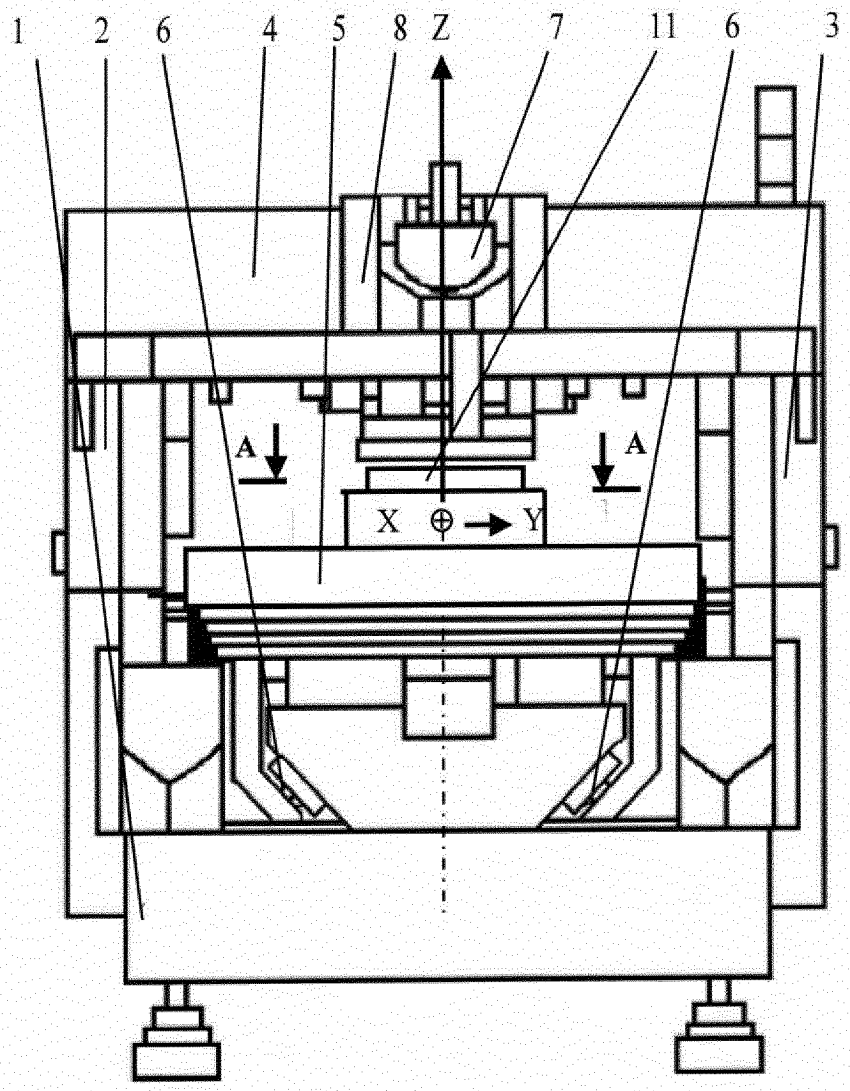
6. Станок по п.5, отличающийся тем, что дополнительный многоканальный контроллер (10) выполнен на базе микрокомпьютера с внутренней памятью и имеет по меньшей мере десять цифровых и аналоговых входов с АЦП и пять выходов с ЦАП, 1-ые вход и выход которого соединены с ЧПУ (9), 2-й вход соединен с выходом блока контроля (22) вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z вала (16) шпинделя (7) относительно его корпуса (18), 3-й вход соединен с выходом блока контроля (23) горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и У нижней части (16а) вала (16) шпинделя (7) относительно его корпуса (18), 4-й вход соединен с выходом блока контроля (24) горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y верхней части (16б) вала (16) шпинделя (7) относительно его корпуса (18), 5-й вход соединен с выходом блока контроля (25) вертикальных и горизонтальных перемещений и колебаний вдоль оси Z и горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y планшайбы (11) относительно стола (5), 6-й вход соединен с выходом блока контроля (26) давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя (7), 7-й вход соединен с выходом блока контроля (27) давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниковых опорах планшайбы (11), 8-й вход соединен с выходом блока контроля (28) температуры охлаждающей жидкости, 9-й вход соединен с выходом блока (29) контроля температуры корпуса (18) шпинделя (7), 10-й вход соединен с 1-м выходом вычислительного средства (73), 2-й выход соединен с входом блока регулирования (30) давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя (7), 3-й выход соединен с входом блока регулирования (31) давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниковых опорах планшайбы (11), 4-й выход соединен с входом блока регулирования объема подачи охлаждающей жидкости, причем в состав ЧПУ

(9) введены дополнительные средство отображения (76) и вычислительное средство (73), 1-й вход и выход которого соединены с соответственно 5-м выходом и 10-м входом дополнительного многоканального контроллера (10), 2-й вход и выход соединены с выходом и входом ЧПУ (9), 3-й выход соединен с входом средства отображения (76).

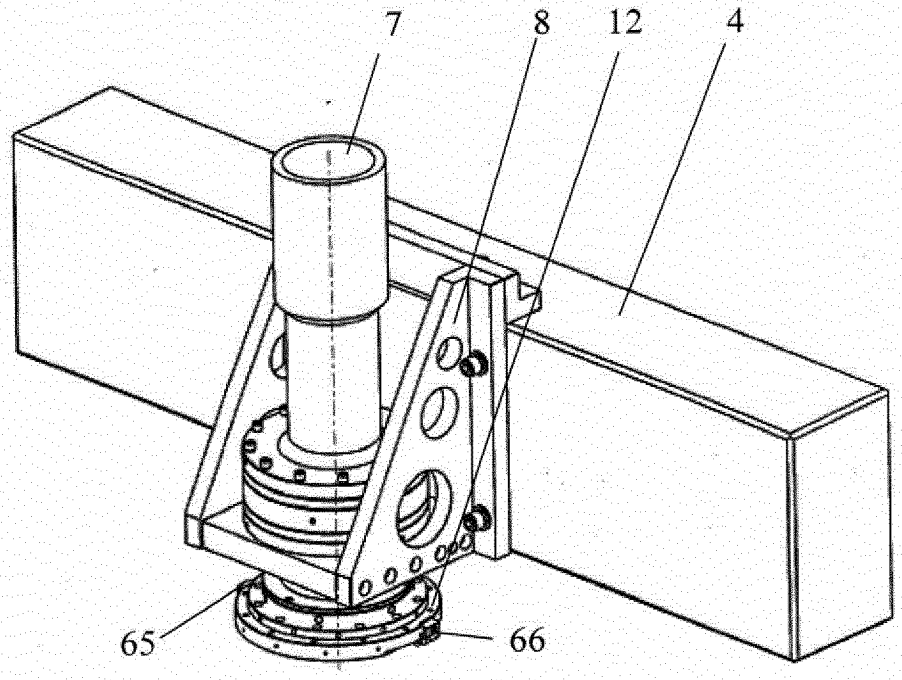
7. Способ обработки плоских поверхностей на вертикальном станке с числовым программным управлением (ЧПУ) по пп.1-6, включающий установку обрабатываемой детали на станке, ее черновую и чистовую обработку с управлением тепловыми режимами функционирования системы СПИД, скоростью резания и припуском на обработку, отличающийся тем, что обработку осуществляют однолезвийным алмазным или алмазоподобным инструментом, например из кубического нитрида бора, при для этом при осуществлении черновой и чистовой обработки осуществляют управление жесткостью системы СПИД и частотой колебаний режущего инструмента, причем при черновой обработке повышают жесткость системы СПИД устанавливая и вращая вал (16) шпинделя (7) в расположенном в его верхней части (16б) подшипнике скольжения и в расположенных в нижней части (16а) вала (16) аэростатических радиальном подшипнике и осевой подшипниковой опоре и вращая планшайбу (11) в опоре скольжения и черновую обработку осуществляют со скоростью резания 750-800 м/мин, а при чистовой обработке в системе СПИД создают повышенную плавность работы, устанавливая и вращая шпиндель (7) и планшайбу (11) в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах, и чистовую обработку осуществляют со скоростью резания, превышающую 1200 м/мин, причем при черновой обработке снимается припуск 0,4-0,8 мм, а при чистовой – менее 0,2 мм.



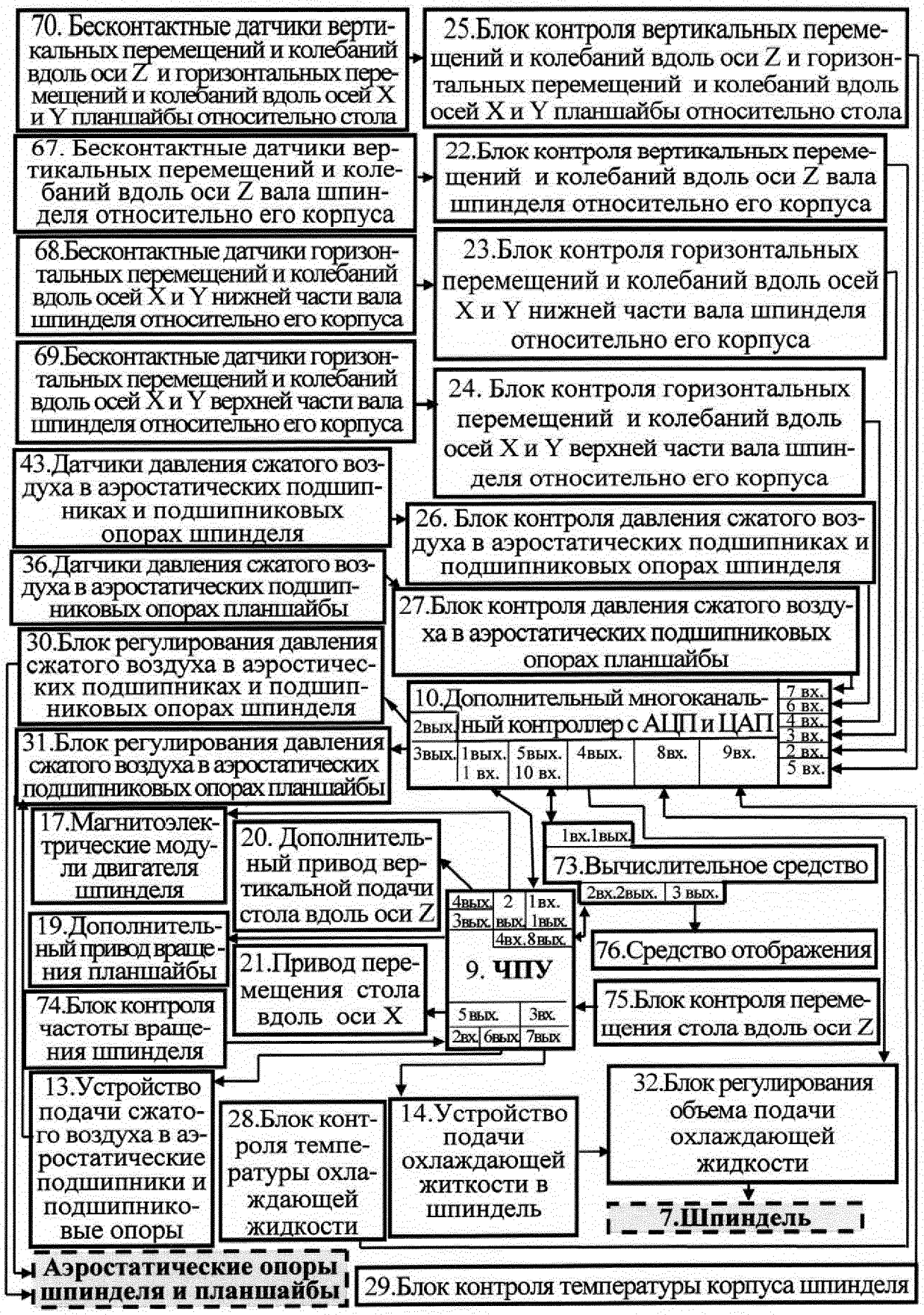
Фиг. 1



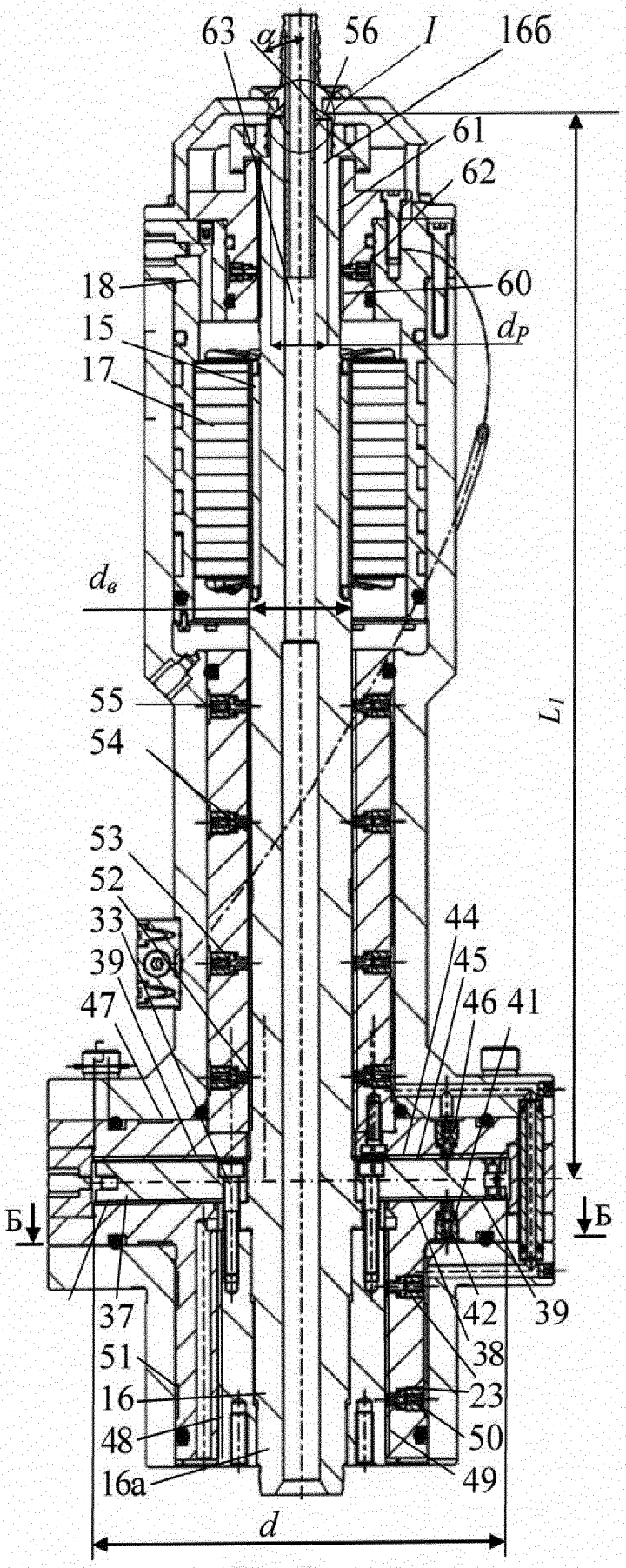
Фиг. 2



Фиг. 3

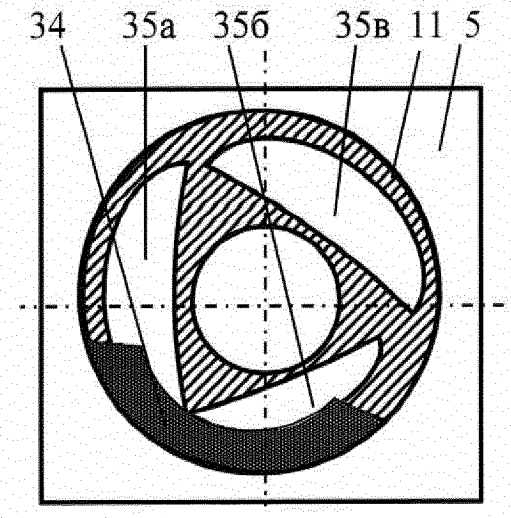

70. Бесконтактные датчики вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z и горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y планшайбы относительно стола
25.Блок контроля вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z и горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y планшайбы относительно стола
67. Бесконтактные датчики вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z вала шпинделя относительно его корпуса
22.Блок контроля вертикальных перемещений и колебаний вдоль оси Z вала шпинделя относительно его корпуса
68.Бесконтактные датчики горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y нижней части вала шпинделя относительно его корпуса
23.Блок контроля горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y нижней части вала шпинделя относительно его корпуса
69.Бесконтактные датчики горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y верхней части вала шпинделя относительно его корпуса
24. Блок контроля горизонтальных перемещений и колебаний вдоль осей X и Y верхней части вала шпинделя относительно его корпуса
43.Датчики давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя
26. Блок контроля давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя
36.Датчики давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниковых опорах планшайбы
27.Блок контроля давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниковых опорах планшайбы
30.Блок регулирования давления сжатого воздуха в аэростических подшипниках и подшипниковых опорах шпинделя
10.Дополнительный многоканальный контроллер с АЦП и ЦАП
2вых.
3вых.
1вых. 1 вх.
5вых. 10 вх.
4вых.
8вх.
9вх.
7 вх.
6 вх.
4 вх.
3 вх.
2 вх.
5 вх.
31.Блок регулирования давления сжатого воздуха в аэростатических подшипниковых опорах планшайбы
17.Магнитоэлектрические модули двигателя шпинделя
20. Дополнительный привод вертикальной подачи стола вдоль оси Z
1вх.1вых.
73.Вычислительное средство
2вх.2вых.
3 вых.
4вых.
3вых.
2 вых.
1вх.
1вых.
4вх.8вых.
9. ЧПУ
5вых.
3вх.
2вх.
6вых.
7вых.
19.Дополнительный привод вращения планшайбы
21.Привод перемещения стола вдоль оси X
76.Средство отображения
75.Блок контроля перемещения стола вдоль оси Z
74.Блок контроля частоты вращения шпинделя
13.Устройство подачи сжатого воздуха в аэростатические подшипники и подшипниковые опоры
28.Блок контроля температуры охлаждающей жидкости
14.Устройство подачи охлаждающей житкости в шпиндель
32.Блок регулирования объема подачи охлаждающей жидкости
7.Шпиндель
Аэростатические опоры шпинделя и планшайбы
29.Блок контроля температуры корпуса шпинделя

Фиг. 4



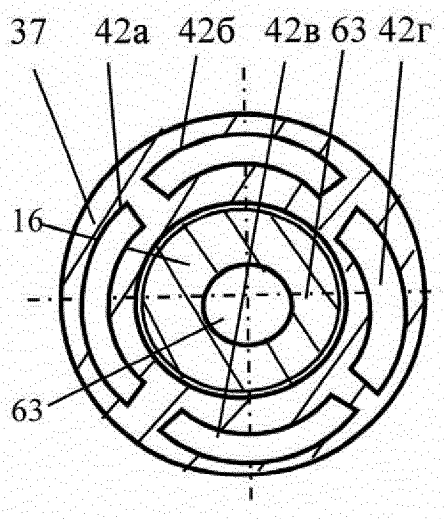
Фиг. 5

А - А



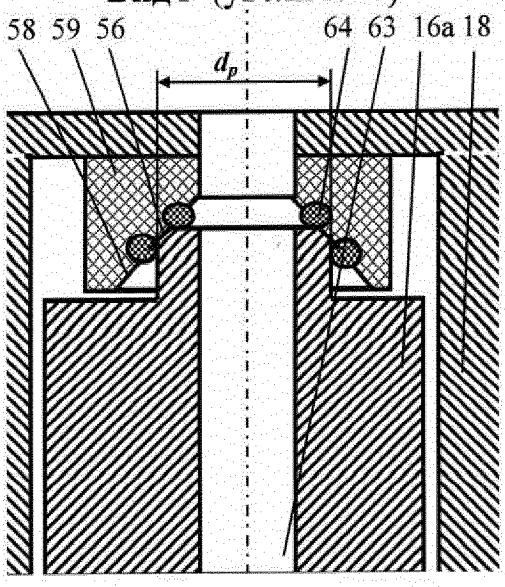
Фиг. 6

Б - Б

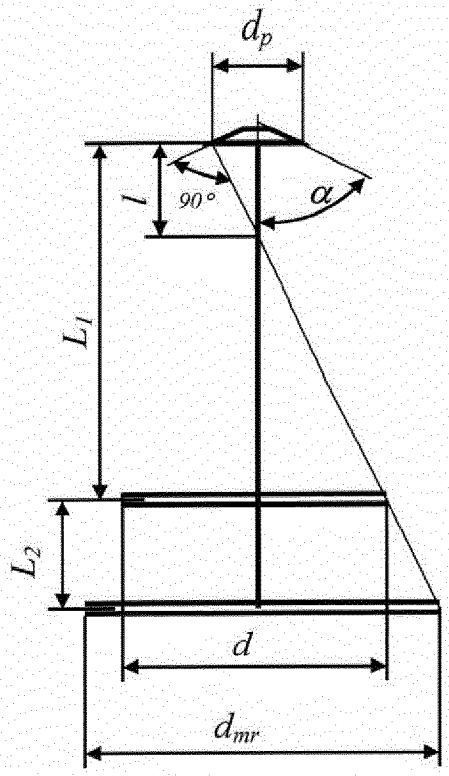


Фиг. 7

Вид *I* (увеличено)

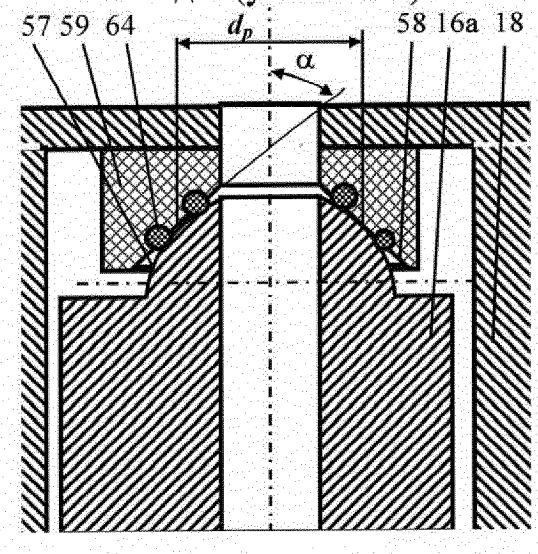


Фиг. 8

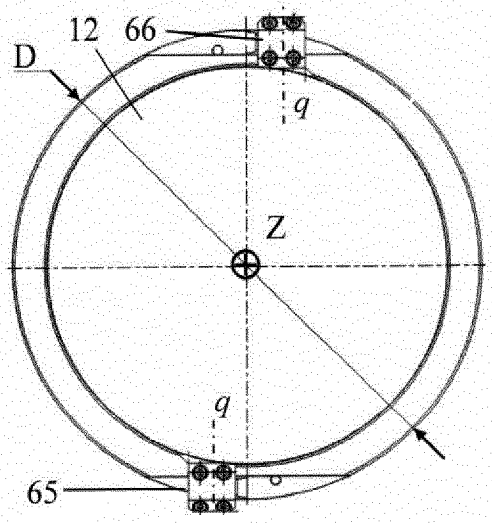


Фиг. 10

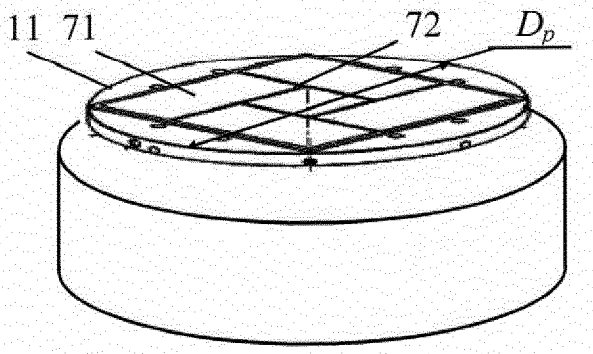
Вид *I* (увеличено)



Фиг. 9.



Фиг. 11



Фиг. 12

ЕАПВ/ОП-2

ЕВРАЗИИСКОЕ ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

ОТЧЕТ О ПАТЕНТНОМ ПОИСКЕ

(статья 15(3) ЕАПК и правило 42 Патентной инструкции к ЕАПК)

Номер евразийской заявки: 201800251

Дата подачи: 29 марта 2018 (29.03.2018) | Дата испрашиваемого приоритета:

Название изобретения: Вертикальный прецизионный станок с числовым программным управлением и способ обработки на нем плоской поверхности

Заявитель: ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ "ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ" и др.

☐ **Некоторые пункты формулы не подлежат поиску (см. раздел I дополнительного листа)**

☐ **Единство изобретения не соблюдено (см. раздел II дополнительного листа)**

А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ:

МПК: ***B23C 1/06*** *(2006.01)*, ***B23Q 5/10*** *(2006.01)*, ***B23C 3/00*** *(2006.01)*, ***B23Q 15/007*** *(2006.01)*, ***F16C 32/06*** *(2006.01)*

СПК: ***B23C 1/06*** *(2018.08)*, ***B23Q 2005/005*** *(2018.08)*, ***F16C 32/0603*** *(2018.08)*

Согласно Международной патентной классификации (МПК) или национальной классификации и МПК

Б. ОБЛАСТЬ ПОИСКА:

Минимум просмотренной документации (система классификации и индексы МПК)
B23C 1/00, 1/06, 1/14, 3/00, B24B 41/00, 41/04, 41/047, B23Q 5/00, 5/10, 15/00, 15/007, 15/20-15/28, F16C 32/00, 32/06, H01L 21/00, 21/30, 21/302, 21/304, 21/68, 21/683, 21/687

Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в область поиска:

В. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ

Категория*	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A	JP 200928828 A (LAPMASTER SFT CORP.) 12.02.2009	1-6
A	US 2017/0263490 A1 (INFINEON TECHNOLOGIES AG) 14.09.2017	7
A	RU 63729 U1 (ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "СТАНКОН") 10.06.2007	1-7
A	BY 8319 C1 (НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ РЕСПУБЛИКАНСКОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ "КБТЭМ-СО") 30.08.2006	1-7
A	JP 2004130505 A (TOHO ENGINEERING KK) 30.04.2004	1-7
A	JP 201183864 A (DISCO KK) 28.04.2011	1-7

☒ последующие документы указаны в продолжении графы В ☐ данные о патентах-аналогах указаны в приложении

* Особые категории ссылочных документов:
"A" документ, определяющий общий уровень техники
"E" более ранний документ, но опубликованный на дату подачи евразийской заявки или после нее
"O" документ, относящийся к устному раскрытию, экспонированию и т.д.
"P" документ, опубликованный до даты подачи евразийской заявки, но после даты испрашиваемого приоритета
"D" документ, приведенный в евразийской заявке
"T" более поздний документ, опубликованный после даты приоритета и приведенный для понимания изобретения
"X" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий новизну или изобретательский уровень, взятый в отдельности
"Y" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий изобретательский уровень в сочетании с другими документами той же категории
"&" документ, являющийся патентом-аналогом
"L" документ, приведенный в других целях

Дата действительного завершения патентного поиска: 16 октября 2018 (16.10.2018)

Наименование и адрес Международного поискового органа:
Федеральный институт промышленной собственности
РФ, 125993,Москва, Г-59, ГСП-3, Бережковская наб., д. 30-1.Факс: (499) 243-3337, телетайп: 114818 ПОДАЧА

Уполномоченное лицо :
В.В. Евстигнеев
Телефон № (499) 240-25-91

ОТЧЕТ О ПАТЕНТНОМ ПОИСКЕ

Номер евразийской заявки:
201800251

ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ (продолжение графы В)

Категория*	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A	JP 2017226046 A (DISCO KK) 28.12.2017	1-7