

УДК 621.357.74:76

DOI:10.30987/2223-4608-2021-4-43-48

В.А. Скрыбин, д.т.н., А.Е. Зверовщиков, д.т.н., Д.В. Артамонов, д.т.н.
(ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», 440026, г.Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: vs_51@list.ru

Особенности расчета режимных параметров и качественных показателей притирки кольцевых присоединительных поверхностей фланцев технологического оборудования

Приведены особенности расчета режимов резания и выбора силовых параметров при притирке на плоскошлифовальных станках кольцевых поверхностей фланцев для присоединения трубопроводной арматуры к трубам или технологическому оборудованию. Определены качественные показатели обработанных поверхностей вышеуказанных деталей, требующих высокой степени уплотнения.

Ключевые слова: режимы резания; силовые параметры; притирка; плоская кольцевая поверхность; качественные показатели; фланцы.

V.A. Scriabin, Dr. Sc. Tech., A.E. Zverovshchikov, Dr. Sc. Tech., D.V. Artamonov, Dr. Sc. Tech.
(FSBEI HE "State University of Penza", 40, Krasnaya Str., Penza, 440026)

Peculiarities in computation of mode parameters and qualitative indices of ring joining surface lapping in flanges of manufacturing equipment

Peculiarities in the computation of cutting modes and power parameter choice during flange ring surface lapping on flat-bed smooth finish machines for joining pipeline equipment to pipes or manufacturing equipment are shown. There are defined qualitative indices of surfaces worked in above-mentioned parts requiring a high degree of sealing.

Keywords: cutting modes; power parameters; lapping; flat ring surface; qualitative indices; flanges.

Введение

В современном машиностроительном производстве одной из актуальных задач является получение параметров качества поверхностей деталей путем применения высокотехнологичной финишной обработки деталей, требующих в работе изделий высокой степени герметичности. Это достигается выбором средств технологического оснащения, включающих в себя: технологическое оборудование; средства механизации и автоматизации технологических процессов (вспомогательных операций и переходов); технологическую оснастку. Качество изготовления деталей невозможно повысить без совершенствования финишных операций процессов абразивной обработки, одной из которых является абразивная доводка (притирка). Одной из деталей с высокой степенью герметичности является фланец для присоединения трубопроводной арматуры к трубам или технологическому оборудованию (рис. 1).



Рис. 1. Фланец для присоединения трубопроводной арматуры к трубам или технологическому оборудованию

Важнейшее требование к любому соединению трубопроводной арматуры – герметичность. Разгерметизация фланцевых соединений происходит не в силу присущих им объективных недостатков, а из-за факторов сугубо субъективных – несвоевременного или недостаточного обслуживания. Чтобы гарантированно поддерживать герметичность на высоком уровне, необходимо периодически под-

тягивать крепеж, фиксирующий соединение фланцев, и менять прокладки между фланцами. Достоинства фланцевого соединения – прочность: надежность; возможность многократного монтажа и демонтажа и использования в широком температурном диапазоне. Фланцам подвластны фактически любые диаметры арматуры, что убедительно доказывает опыт ведущих отечественных и зарубежных производителей [1 – 2].

Для изготовления стальных и чугунных фланцев используются: сталь – углеродистая, низколегированная, теплоустойчивая, коррозионностойкая; литье – из легированной, высоколегированной и нелегированной стали; серый чугун – СЧ 15, СЧ 20; ковкий чугун – КЧ 30-6; высокопрочный чугун – ВЧ 40, ВЧ 45.

Материалы и методика исследований

На получение параметров качества кольцевых поверхностей деталей с высокой степенью герметичности притиркой влияют:

- исходное состояние поверхности после осуществления шлифовальной операции;
- угловая и линейная скорости вращения блока, на котором крепятся инструменты и самих инструментов, а также инструментов в процессе абразивной доводки;
- давление инструмента на поверхности деталей, подвергаемых обработке;
- состав абразивной или алмазной пасты.

Необходимо отметить что операция шлифования и притирки выполнялись на одном и том же вертикальном доводочном станке. После выполнения шлифовальной операции шлифовальные круги в инструментальных блоках меняются на притиры, а иногда целиком меняются и кронштейны с инструментами. Слой металла, снимаемый притиркой, составляет 0,002...0,030 мм. Притиркой достигается высокая точность размеров и геометрической формы детали (до 0,001...0,002 мм), шероховатость поверхностей деталей до $Ra = 0,032...0,02$ мкм.

В качестве материала шлифовальных кругов использовался: хромотитанистый электрокорунд марок 91А или 92А зернистостью F60(Z 25). Материал притиров: серый чугун: СЧ 20 ГОСТ 1412–85 или сталь 45 ГОСТ 1050-88 с самоклеющимися абразивными шкурками. Материал шкурки и зернистость при черновой обработке: 91А16-Н(P80); 91А10-Н(P120); 15А16-Н(P80); 15А10-Н(P120); при чистовой обработке: 91АМ63-Н(P240); 15АМ63-Н(P240). Паста изготавливалась на основе хромотитанистого электрокорунда марки 91А (92А) или белого

электрокорунда марки 24А (25А). В табл. 1 приведен состав притирочно-доводочной пасты [1 – 4].

1. Состав притирочно-доводочной пасты

Наименование компонента	Содержание, %	Примечание
Электрокорунд белый марок 24А, 25А или хромотитанистый электрокорунд марки 91А (92А)	50	Марка и зернистость абразива, а также состав пасты может быть другой в зависимости от обрабатываемого материала и условий обработки
Кислота олеиновая ГОСТ 7580-91	10	
Литол-24 ГОСТ 21250-87	15	
ПАВ (кальцинированная сода)	10	
Масло промышленное И20А	15	

На рис. 2 приведены конструкции инструментальных блоков, изготовленных из углеродистых и легированных сталей, а также из сплавов алюминия.

Блоки имеют кронштейны с гнездом для крепления инструментов. Кронштейны могут выдвигаться на определенное расстояние, позволяя обрабатывать детали различных диаметров. Необходимо отметить, что шлифовальные круги или притиры закрепленные на оправке гнезда кронштейна свободно вращаются вокруг своей оси, а инструментальные блоки вращаются от привода станка, оснащенного электро- или пневмодвигателем.

На рис. 3 показаны конструкции стального и чугунного притиров.

Движения инструментальных блоков и инструментов приведены на схеме обработки кольцевых поверхностей деталей на вертикальном плоскодоводочном станке (рис. 4) предприятия ООО «ГАКС-РЕМ-АРМ» (г. Пенза).

Результаты исследования и обсуждение полученных результатов

Для определения режимных параметров при обработке кольцевой поверхности фланца рассмотрим кинематическую схему совокупности круговых движений инструментального блока и притирочных инструментов (рис. 5).

По условиям обработки наружный диаметр блока с инструментами $D_{\text{БИ}} = 116,5$ мм. Диа-

метр притира d равен диаметру опорного диска и составляет 40 мм.

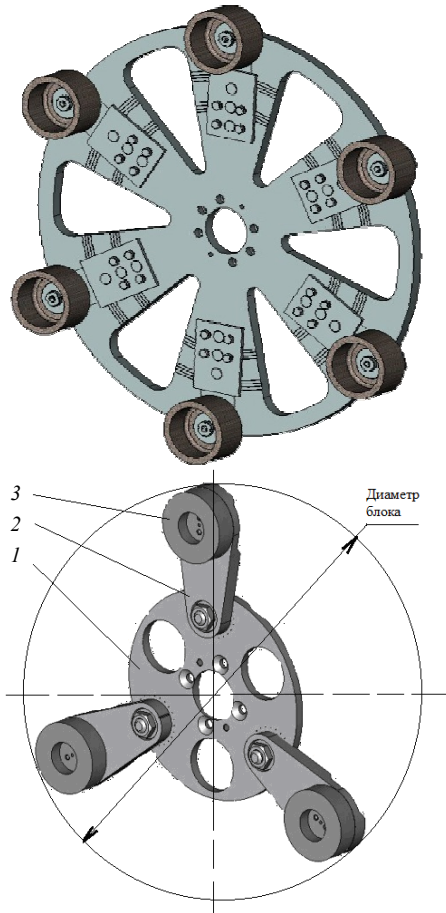


Рис. 2. Конструкции инструментальных блоков на 6 и на 3 инструмента:

1 – инструментальный диск; 2 – кронштейн; 3 – шлифовальный круг или притир

В соответствии с рис. 5 межцентровое расстояние между притиром и инструментальным блоком $OA = 116,5/2 - 40/2 = 58,25 - 20 = 38,25$ мм.

Расстояние AC от центральной точки блока с размещенными на нем притирами до средней линии кольцевой поверхности шириной H определится следующим образом:

$$AC = \frac{d}{2} - \Delta - \frac{H}{2} \cdot H = \frac{D_1 - D}{2}, \text{ (см. рис. 5)}$$

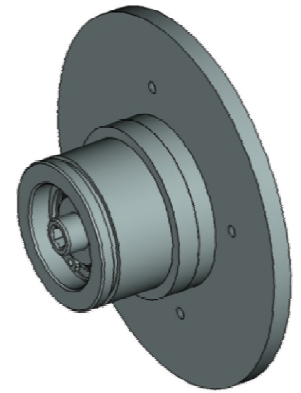
$$H = (125 - 110)/2 = 7,5 \text{ мм.}$$

где Δ – смещение притира за наружный диаметр кольцевой поверхности для компенсации его торможения, которое обеспечивается за счет разности значений линейных скоростей кругового движения блока с притирами v_A и притира v_{CA} на величину линейной скорости точки приложения силы сопротивления притиру v_C .

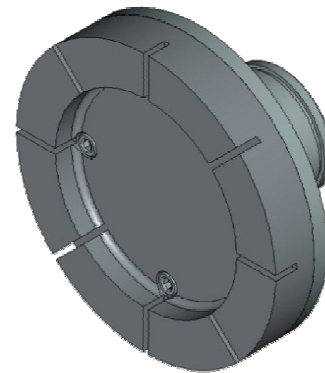
Рассмотрим движение инструмента (см. рис. 5), на который действуют следующие

нагрузки:

- движущая сила $P_{дв}$ от привода, действующая в центральной точке в точке A притира;
- силы резания (сопротивления), которые распределены по кольцевой поверхности;



a)



b)

Рис. 3. Конструкции притиров:

a – конструкция стального притира с самоклеющейся абразивной шкуркой; б – конструкция чугунного притира с нанесенной на него доводочной пастой

В первом приближении считаем их равномерно распределенными по поверхности обработки.

Заменим эти силы одной равнодействующей R_p , приложив ее в центре тяжести (точка C) кольцевой поверхности. Эта сила является силой резания.

Смещение притира Δ назначается также из условий ликвидации «завала» кромки наружного диаметра кольцевой поверхности D_1 с целью получения стабильной точности обработки. С учетом производственного опыта $\Delta \approx 5$ мм.

$$\text{При этом } AC = \frac{40}{2} - 5 - 3,75 = 11,25 \text{ мм.}$$

Мощность резания при абразивной доводке кольцевой поверхности детали определяется как:

$$N_{рез} = n \cdot R_p \cdot v_C, \quad (1)$$

где n – количество притиров в инструментальном блоке; R_p – сила резания; v_C – скорость точки приложения силы сопротивления.

$$R_p = f \cdot F_{пр}, \quad (2)$$

где f – коэффициент трения притира с поверхностью обрабатываемой детали; $F_{пр}$ – сила прижима притира к кольцевой детали.

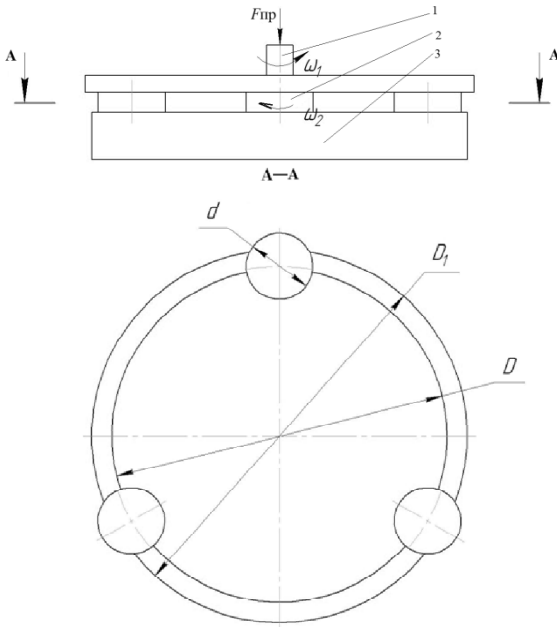


Рис. 4. Схема притирки кольцевых поверхностей фланцев на вертикальном притирочно-доводочном станке:

1 – шпиндельная оправка; 2 – чугунный или стальной притир; 3 – обрабатываемая деталь; 4 – угловая скорость вращения инструментального блока ω_1 ; 5 – угловая скорость вращения притира ω_2 ; D_1 – наружный диаметр кольцевой поверхности детали; D – внутренний диаметр кольцевой поверхности детали; d – диаметр притира

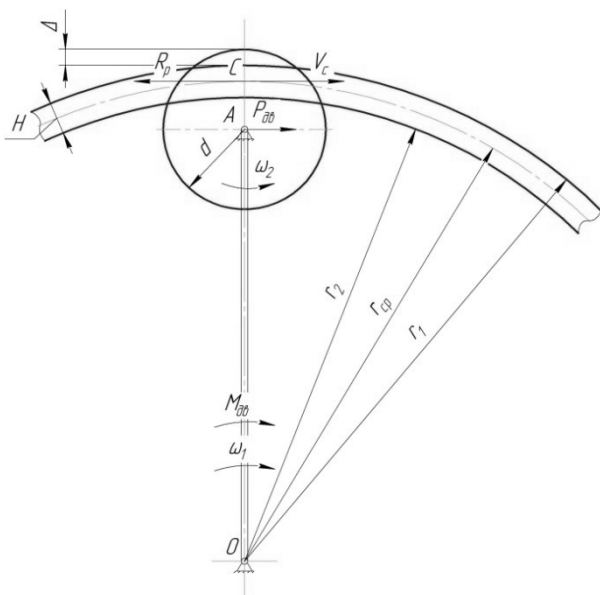


Рис. 5. Кинематическая схема совокупности круговых движений инструментального блока и притирочных инструментов

Исходя из производственных данных ООО «ГАКС-РЕМ-АРМ» (г. Пенза) и опыта производственных данных других предприятий Российской Федерации, занимающихся технологиями притирки плоских деталей, а также по литературным источникам, линейная скорость притира v_C находится в диапазоне $0,2 \dots 0,5$ м/с, если абразивная доводка чистовая, и $0,4 \dots 2$ м/с, если абразивная доводка черновая. Коэффициент трения f между абразивным инструментом и обрабатываемой поверхностью из чугуна или легированной стали изменяется в диапазоне $0,1 \dots 0,4$. В этом случае имеем:

$$N_{рез} = n \cdot f \cdot F_{пр} \cdot v_C \quad (3)$$

В процессе абразивной доводки мощность привода $N_{прив}$ будет равна мощности $N_{рез}$, развиваемой силой резания R_p , т.е.

$$N_{прив} = N_{рез} \quad (4)$$

Мощность привода определяется по зависимости:

$$N_{прив} = N_{рез} = M_{дв} \cdot \omega_1 = P_{дв} \cdot v_A \quad (5)$$

где $P_{дв}$ – движущая сила от привода; v_A – скорость точки приложения движущей силы; $M_{дв}$ – момент вращения двигателя привода станка.

Скорость v_C точки приложения силы сопротивления можно определить по теореме о сложении скоростей при плоском движении:

$$v_C = v_A - v_{CA} = \omega_1 \cdot OA - \omega_2 \cdot AC \quad (6)$$

Подставив зависимость (6) для определения v_C в формулу (3), получим:

$$N_{рез} = n \cdot f \cdot F_{пр} \cdot (\omega_1 \cdot OA - \omega_2 \cdot AC) \quad (7)$$

где ω_1 и ω_2 – угловые скорости притира и двигателя привода, задающего вращательное движение блоку с притирами; OA , AC – плечи приложения движущей силы $P_{дв}$ от привода, приложенной в точке A и результирующей силы резания R_p в точке C ;

Подставив зависимость (7) для определения $N_{рез}$ в (5), получим:

$$M_{дв} \cdot \omega_1 = n \cdot f \cdot F_{пр} \cdot (\omega_1 \cdot OA - \omega_2 \cdot AC) \quad (8)$$

Угловая скорость притира из выражения (8) определяется следующим образом:

$$\omega_2 = \frac{n \cdot f \cdot F_{пр} \cdot \omega_1 \cdot OA - M_{дв} \cdot \omega_1}{n \cdot f \cdot F_{пр} \cdot AC} \quad (9)$$

Из зависимости (5) $N_{рез} = M_{дв} \cdot \omega_1$, следовательно, выражение (9) можно привести к следующему виду:

$$\omega_2 = \frac{n \cdot f \cdot F_{пр} \cdot \omega_1 \cdot OA - N_{рез}}{n \cdot f \cdot F_{пр} \cdot AC}$$

Схема управления притирочно-доводочным станком приведена на рис. 6.

Управление параметрами режимов резания вертикального притирочно-доводочного станка для шлифования и притирки кольцевой по-

верхности детали реализуется с помощью блока управления. Схема управления (см. рис. 6) реализует управление электроприводом станка и отражает на мониторе пульта управления 1 показания различных параметров процесса абразивной доводки с датчиков: тахометр – скорость вращения; датчик силы – усилие прижима ($F_{пр}$ притиров к кольцевой поверхности фланца, которое регулируется с помощью специального винтового механизма (см. рис. 4). Методика определения режимных параметров на основе разработанных кинематических схем процесса абразивной доводки и эксперименты по определению усилия прижима притира к поверхности детали ($F_{пр}$) для различных производственных условий реализованы на ООО «ГАКС-РЕМ-АРМ» (г. Пенза) совместно с кафедрой «Технология машиностроения» Пензенского государственного университета [1 – 5].

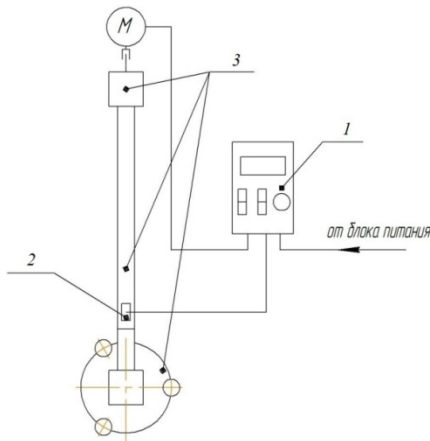


Рис. 6. Схема управления притирочно- доводочным станком:

1 – пульт управления; 2 – датчик силы; 3 – станок

Рассчитаем мощности резания по формуле (3) для условий предварительной и окончательной абразивной доводки фланца из легированной стали марки 12X18H10T ГОСТ5632-2014 притиром из чугуна марки СЧ 20 ГОСТ1412-85. При этом в соответствии с ранее приведенными экспериментальными данными, полученными на предприятии ООО «ГАКС-РЕМ-АРМ» линейная скорость черновой абразивной доводки $v_{Счерн} = 0,4$ м/с, а усилие прижима $F_{пр} = 85$ Н. Для чистовой доводки соответственно $v_{Счист} = 0,3$ м/с, $F_{пр} = 70$ Н.

$$N_{рез.черн} = 3 \cdot 0,2 \cdot 85 \cdot 0,4 = 20 \text{ Н} \cdot \text{м/с} = 26 \text{ Вт} = 0,02 \text{ кВт.}$$

$$N_{рез.чист.} = 3 \cdot 0,2 \cdot 70 \cdot 0,3 = 12,6 \text{ Н} = 12,6 \text{ Вт} = 0,0126 \text{ кВт.}$$

Соотношения между $N_{рез}$ и $N_{дв}$ следующие:
 $N_{рез.} \leq \eta \cdot N_{дв}$, где η – КПД привода ($\eta \approx 0,9$).

Мощность двигателя связана с моментом вращения двигателя привода зависимостью:

$$\eta \cdot N_{дв} = M_{дв} \cdot \omega_1.$$

$$\omega_1 = \frac{2\pi n}{60}.$$

Исходя из технологических операций на предприятии при черновой абразивной доводке частота вращения блока с инструментами $n_1 = 120 \text{ мин}^{-1}$, а при чистовой – $n_2 = 100 \text{ мин}^{-1}$.

Соответственно –

$$\omega_1 = \frac{2\pi n}{60} = \frac{6,28 \cdot 120}{60} = 12,6 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$\omega_2 = \frac{6,28 \cdot 100}{60} = 10,4 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

$$M_{дв} = \frac{\eta \cdot N_{дв}}{\omega_1} = \frac{0,9 \cdot 2}{12,6} = 0,16 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

$$M_{дв} = \frac{\eta \cdot N_{дв}}{\omega_2} = \frac{0,9 \cdot 2}{10,4} = 0,18 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Для чистовой абразивной доводки величина угловой скорости притира ω_2 составляет:

$$\omega_2 = \frac{3 \cdot 0,2 \cdot 70 \cdot 10,4 \cdot 38,25 \cdot 10^{-3} - 12,6}{3 \cdot 0,2 \cdot 70 \cdot 11,25 \cdot 10^{-3}} = \frac{4,1}{0,47} = 8,72 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Линейную скорость притира определяем следующим образом:

$$v_2 = \omega_2 \cdot R,$$

где R – радиус притира.

При диаметре притира $d = 40$ мм:

$$v_2 = 8,72 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \approx 0,2 \frac{\text{м}}{\text{с}} \left(12 \frac{\text{м}}{\text{мин}} \right).$$

Линейная скорость вращения блока инструментального:

$$v_1 = \frac{\pi \cdot D_{би} \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 116,5 \cdot 100}{1000} \approx 37 \frac{\text{м}}{\text{мин}}.$$

Давление притира на кольцевую поверхность фланца при чистовой абразивной доводке определяется следующим образом:

$$P = \frac{F_{пр}}{S} = \frac{7}{50} = 0,14 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \approx 0,014 \text{ МПа.}$$

где S – суммарная площадь контакта инструментов с обрабатываемой поверхностью, см^2 .

По производственным данным и литературным источникам давление при чистовой плоской односторонней абразивной доводке для высоколегированных сталей в состоянии поставки находится в диапазоне 0,04...0,015 МПа.

Шероховатость обработанной поверхности при плоской притирке согласно исследованиям [6] и проведению планирования экспериментов на предприятии ООО «ГАКС-РЕМ-АРМ» определяется по следующей зависимости:

$$R_a = C_{Ra} \cdot P^y \cdot \text{HB}^{-m} \cdot d,$$

где C_{Ra} – коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого материала, абразива и дру-

гих условий обработки; P – давление притира на обрабатываемый материал; $HВ$ – твердость обрабатываемого материала; d – диаметр абразивных зерен. Для высоколегированной стали в состоянии поставки марки 12Х18Н10Т $\sigma_{HВ} = 169 \text{ кгс/см}^2$ (16,9 МПа). $P = 0,4 \text{ кгс/см}^2$ (0,04 МПа); $y = 1$; $m = -1$; абразивный материал – микрошлифпорошки М10(F800) электрокорунда хромтитанистого марок 91А...95А; $C_{Ra} = 235...280$.

$Ra = 270 \cdot 0,4^1 \cdot (169 \cdot 10^2)^{-1} \cdot 10 \approx 0,064 \text{ мкм}$.
Заданная шероховатость кольцевой поверхности детали $Ra = 0,08 \text{ мкм}$.

Заключение

Разработанная кинематическая схема процесса абразивной доводки фланцев для присоединения трубопроводной арматуры позволила впервые создать методику расчета режимных параметров кольцеобразных уплотнительных поверхностей на вертикальном плоскоповоротном станке с оригинальной конструкцией инструментального блока, который может быть предназначен как для шлифования, так и для притирочно-доводочных работ. Проведенные производственные эксперименты позволили рассчитать режимные и силовые параметры технологических операций и получить на станке при обработке уплотнительной поверхности фланца с полученными режимными и силовыми параметрами заданную шероховатость поверхностей деталей из труднообрабатываемых высоколегированных сталей. Проведена модернизация технологического оборудования, позволяющая с помощью электронного пульта управления и специального устройства для изменения нагружающего усилия на притир регулировать шероховатость обрабатываемой поверхности, что особенно важно для поверхностей деталей с высокой степенью герметичности. Выбран материал притира и состав притирочно-доводочной пасты, оказывающей большое влияние на качество и производительность процесса абразивной доводки. Все это позволило разработать прогрессивную операцион-

ную технологию процесса абразивной доводки и расширить технологические возможности оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Скрыбин, В.А. Этапы обработки при восстановлении запорных деталей – трубопроводной запорной арматуры // Вестник Мордовского университета. – 2016. – Том 26. – №2. – С. 228 – 244.
2. Зверовщиков, А.Е. Расширение технологических возможностей объемной центробежно-планетарной обработки // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2013. – №7(25). – С. 17 – 23.
3. Сейнов, С.В. Технологии и оборудование для притирки уплотнений арматуры. Ремонт, восстановление, модернизация. – М.: Изд-во «Наука и технологии», 2002. – №2. – С. 8 – 13.
4. Jakob Vust, Claser H. Eine Methode der naherungswerte für Metalledichtungen der ND-Technik anhand mechanischen Ersatzmodelle-4 Jnt.Dichtungstag. Dresden. – 2004. – Pp. 420 – 444.
5. Sarda, S.P., Le Tirant, P., Baron, G. Influence des contraintes et de la pression de fluide sur le cou lément dans les rocked fissurees //Adoanses of Rock Mechanics, Washington. – 2004. – vol. 2, part A. – Pp. 667 – 673.
6. Орлов, П.Н. Технологическое обеспечение качества деталей методами доводки. – М.: Машиностроение, 1988. – 384 с.

REFERENCES

1. Skryabin, V.A. Working stages in reconstruction of locking parts – pipeline locking equipment // Bulletin of University of Mordovia. – Saransk: Mordovia University Publishers, Vol. 26, No.2-2016. pp. 228-244.
2. Zverovshchikov, A.E. Expansion of technological potentialities of volumetric centrifugal-planetary processing // Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering. – 2013. – No.7(25). – pp. 17-23.
3. Seinov, S.V. Technologies and Equipment for Sealing Equipment Lapping. Repair, Restoration, Updating. – M.: “Science and Technologies” Publishers, 2002. No.2. pp. 8-13.
4. Jakob Vust, Claser H. Eine Methode der naherungswerte für Metalledichtungen der ND-Technik anhand mechanischen Ersatzmodelle-4 Jnt.Dichtungstag. Dresden, 2004, Pp. 420-444.
5. Sarda S.P., Le Tirant P., Baron G. Influence des contraintes et de la pression de fluide sur le cou lément dans les rocked fissurees //Adoanses of Rock Mechanics, Washington, 2004, vol.2, part A, Pp. 667-673.
6. Orlov, P.N. Technological Support of Parts Quality by Smooth Finish Methods M.: Mechanical Engineering, 1988. – pp. 384.

Рецензент д.т.н.
Николай Валерьевич Бекренев

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный технический университет"

Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7

ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Телефон редакции журнала: 8-903-592-87-39, 8-910-293-62-96.

E-mail: naukatm@yandex.ru, editntm@yandex.ru

Вёрстка А.А. Алисов. Технический редактор А.А. Алисов.

Сдано в набор 15.04.2021. Выход в свет 30.04.2021.

Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,58.

Тираж 500 экз. Свободная цена.

Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Брянский государственный технический университет"

