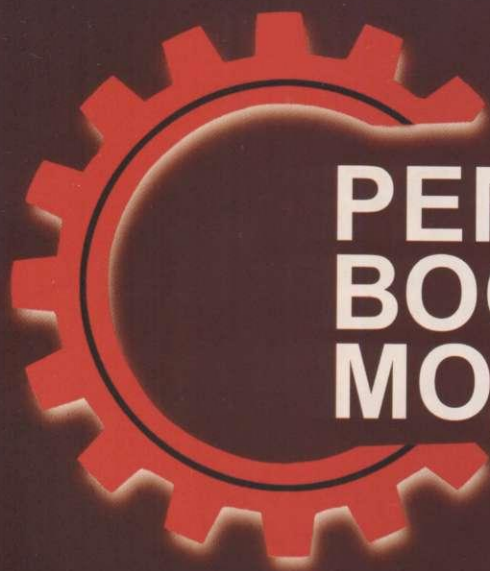


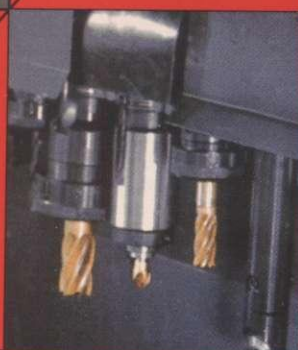
ISSN 1684-2561



РЕМОНТ ВОССТАНОВЛЕНИЕ МОДЕРНИЗАЦИЯ

РВМ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ,
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



4
2020

● ПРАКТИКА РЕМОНТА, ВОССТАНОВЛЕНИЯ И МОДЕРНИЗАЦИИ

- Еренков О.Ю., Яворская Е.В., Яворский Д.О.** Модернизированная конструкция пластинчатого вакуумного насоса 3
- Скрябин В.А.** Модернизация установки для обработки деталей со сложным профилем рабочей поверхности 7
- Тамби А.А., Григорьев И.В.** Повышение эффективности работы харвестера путем исключения потерь времени на подготовку режущего инструмента 12

● ТРИБОТЕХНИКА И ТРИБОТЕХНОЛОГИИ

- Гаркунов Д.Н., Бабель В.Г., Мельников Э.Л., Щедрин А.В., Минязева Л.Х., Бабель А.Л.** Металлосодержащие противоизносные противозадирные присадки к моторным маслам двигателей внутреннего сгорания 17
- Карташова В.В.** Исследование трибологических свойств полимерных покрытий для рабочего оборудования дорожных машин 25

● УТИЛИЗАЦИЯ И ЭКОЛОГИЯ

- Схиртладзе А.Г.** Загрязнения, возникающие при изготовлении, сборке и испытаниях машин 29

● ОБЩИЕ И НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

- Кольдюшов В.К., Баурова Н.И., Лосавио С.К.** Выбор технологии окраски деталей машин из полимерных композиционных материалов на основании результатов климатических испытаний 34
- Алдошин Н.В., Кравченко И.Н., Лылин Н.А., Мосяков М.А.** Методика выбора рациональных конструктивных и технологических параметров очесывающего рабочего органа 40
- Михальченков А.М., Кожухова Н.Ю., Мышакова Н.В., Козарез М.В.** К вопросу о неоднократном восстановлении культиваторных лап с полым креплением 45

УДК 621.923.01.

Модернизация установки для обработки деталей со сложным профилем рабочей поверхности

В.А. СКРЯБИН, д-р техн. наук, профессор

Пензенский Государственный университет, г. Пенза, 440026, РФ

E-mail: vs_51@list.ru

DOI: 10.31044/1684-2561-2020-0-4-7-11

Поступила в редакцию 29.10.2019

После доработки 20.11.2019

Принята к публикации 03.12.2019

Приводятся новые конструкторские решения при проектировании оборудования для финишной обработки деталей со сложным профилем рабочей поверхности, которые позволяют осуществлять планетарное вращение детали при малом межосевом расстоянии оправки с обрабатываемой деталью и шпинделем установки, что способствует повышению качества обработки рабочих поверхностей деталей и уменьшает энергетические затраты процесса обработки вышеуказанных деталей. Проведены также расчеты детали на прогиб с использованием программного продукта Solid Works 2016. Расчеты показали достаточную надежность работы установки при обработке деталей средних и крупных размеров по сравнению с базовым вариантом установки, ранее изготовленной Пензенским государственным университетом для АО «Пенза дизельмаш».

Ключевые слова: результаты теоретических исследований, сложные поверхности деталей, незакрепленные абразивные частицы, производительность, качественные показатели, проектирование оборудования, автоматизация конструкторских расчетов.

New design solutions in the machining of equipment for the final polishing of components with a complex profile of a working surface is presented, which allow one to implement the planetary rotation of the component at a small center distance of a mandrel with the workpiece and a plant spindle, that improves the machining quality of working surfaces of the components and reduces the power costs for the machining. Calculations were also carried out for deflection using software Solid Works 2016. The calculations showed sufficient reliability of operation when machining medium and large size components.

Keywords: result, theoretical study, complex surface component, loose abrasive particle, effectiveness, quality performance, equipment design, automation, design calculation.

В работе Мартынова А.Н. [1] проведены теоретические и экспериментальные исследования и дано методологическое обоснование нового метода финишной обработки деталей незакрепленным абразивом, уплотненным инерционными силами. Результаты исследований В.З. Зверовщикова [2] посвящены вопросам динамики центробежной обработки деталей дискретным шлифовальным материалом, уплотненным инерционными силами. В работах Зверовщикова А.Е. проведены исследования технологического обеспечения качества поверхностей деталей при multifunctional центробежно-планетарной объемной обработке [3–5]. Все вышеперечисленные научные работы посвящены финишной обработке сложнопрофильных деталей из различных материалов небольшого размера со следующими габаритами: диаметр 20–50 мм и длина

80–100 мм, масса 0,020–0,050 кг. Необходимо отметить, что основным недостатком вышеперечисленных научных работ является невозможность обработки сложнопрофильных деталей среднего и крупного типоразмера и сложная кинематика установок. Кроме того, все рассматриваемые установки достаточно энергоемки. Решение этого вопроса детально освещено в научных работах и докторской диссертации Скрябина В.А., в которой разработан новый метод обработки сложнопрофильных деталей незакрепленным абразивом, уплотненным сжатым воздухом через эластичную оболочку [6, 7]. Недостатками этого метода финишной обработки является увеличенное потребление энергии, а также достаточно большое межосевое расстояние между деталью и шпинделем установки, что снижает параметры качества обрабатываемых поверхностей и уменьшает номенклатуру

деталей по массовым и габаритным характеристикам. В этом случае необходимы новые решения по изменению конструкции установки.

При проектировании новой установки за счет конструктивных наработок и новых решений уменьшено межосевое расстояние между деталью и шпинделем установки, что способствует уменьшению вибраций, улучшению параметров качества обрабатываемых поверхностей и увеличивает номенклатуру изделий. Правильность принятых решений подтвердилась проведенными расчетами по снижению сопротивления абразивной среды, воздействующей на поверхности лопаток колеса турбокомпрессора дизеля. Проведены также расчеты детали на прогиб с использованием программного продукта Solid Works 2016. Расчеты показали достаточную надежность работы установки при обработке деталей средних и крупных размеров.

Уменьшение межосевого расстояния уменьшает прогиб деталей и вибрации в процессе финишной обработки и позволяет с меньшими энергозатратами стабилизировать качество и производительность процесса обработки поверхностей сложного профиля. В настоящее время изготовленная установка успешно проходит испытания на пензенском предприятии АО «Пензадизельмаш» при обработке встроенных лопаток в колеса турбокомпрессора дизеля, где показывает высокую производительность и обеспечивает заданное качество обработки по сравнению с базовой заводской установкой.

Финишная абразивная обработка деталей сложной геометрической формы уплотненными абразивными средами является одним из наиболее производительных процессов [8–10]. Однако использование методов и оборудования разработанного ранее метода имеют ограниченное применение и не всегда соответствует потребностям производства для достижения необходимой производительности и качества обработки деталей сложной формы, в частности цельнолитых колес турбин турбокомпрессоров из труднообрабатываемых материалов.

В статье приводятся решения проблемных вопросов обработки среднегабаритных деталей со сложными рабочими поверхностями второго порядка, в частности колеса турбины турбокомпрессора дизеля. Получение качественных характеристик поверхностного слоя и обеспе-

чение заданной производительности обработки достаточно просто можно осуществить путем полирования вышеуказанных поверхностей в среде незакрепленных абразивных зерен, уплотненных сжатым воздухом через гибкую оболочку на специальной установке. Обработка этих поверхностей на шлифовальной машинке жестким шлифовальным кругом занимает много времени и не может полностью обеспечить обработку всех лопаток колеса, так как они близко расположены друг от друга, имеют малый угловой шаг и труднодоступны для обработки всей площади сложных поверхностей лопаток колеса турбины.

При использовании новой установки ее жестко закрепляют на столе вертикально- или радиально-сверлильного станка и соединяют со шпинделем.

Новое устройство для финишной обработки деталей с отклонениями от круглости и сложно-профильных деталей содержит вал с оправкой, смонтированной с эксцентриситетом в корпусе устройства, камеру, заполненную абразивной средой, привод вращения детали, установленный на входном валу, а на валу с оправкой выполнен зубчатый венец, кинематически связанный с зубчатым венцом, образованным на внутренней цилиндрической поверхности крышки устройства. Опорная крышка с валом с оправкой и уплотнительная крышка установлены в подшипниковых опорах.

Устройство позволяет снизить энергетические затраты, увеличить предел максимальной массы обрабатываемой детали, повысить качество поверхности путем уменьшения «момента сопротивления абразивной среды», уменьшить вибрации и способствует появлению жесткой связи, обеспечивающей вращение вала с оправкой.

Установка позволяет осуществить жесткую связь, обеспечивающую вращение вала с оправкой, посредством кинематической связи зубчатого венца вала с оправкой с зубчатым венцом корпуса крышки устройства. Снижение рычага сопротивления и увеличение максимальной массы детали осуществляется путем уменьшения межосевого расстояния, меньшего, чем сумма радиусов входного вала и вала с оправкой [6, 7]. Общий вид устройства приведен на рис. 1.

Установка (рис. 2) состоит из контейнера 8, заполненного абразивной средой 11. В крыш-

ке 1, установленной на контейнере устройства, смонтированы опорная крышка 2 и защитная крышка 10 с подшипниковыми опорами. С опорной крышкой 2 жестко связан входной вал 4, передающий крутящий момент от привода станка к опорной крышке и обеспечивающий вращение детали относительно оси устройства. В опорную крышку 2 с эксцентриситетом установлен в подшипниках вал с оправкой 5, служащий для установки детали 7 в абразивную среду 11. На вал с оправкой 5 установлен зубчатый венец 6, который кинематически связан с зубчатым венцом, выполненным на крышке 1 устройства. Данная связь осуществляет вращение обрабатываемой детали 7 относительно собственной оси. Крышки 9 и 3 предохраняют внутренние механизмы устройства от воздействия абразива и внешней среды.

Устройство работает следующим образом. На вал с оправкой 5, который установлен в корпусе крышки устройства, закрепляют деталь 7 (рис. 3) диаметром 200—250 мм и массой 3—5 кг из труднообрабатываемого литейного сплава. Крышку 1 устанавливают на корпус устройства 8, обеспечивая тем самым погружение детали

в абразивную среду. Подача сжатого воздуха под давлением в полость контейнера 12 обеспечивает поджатие эластичными стенками 13 к детали 7 абразивной среды 11, за счет чего равномерно осуществляется контакт абразивных частиц с поверхностью детали. Крутящий момент передается валу 4, вращающемуся с угловой скоростью ω_1 от привода станка, и сообщает вращение опорной крышке 2 с установленным в ней валом с оправкой 5, тем самым обеспечивая вращение обрабатываемой детали 7 относительно оси устройства. Передача крутящего момента относительно оси заготовки осуществляется

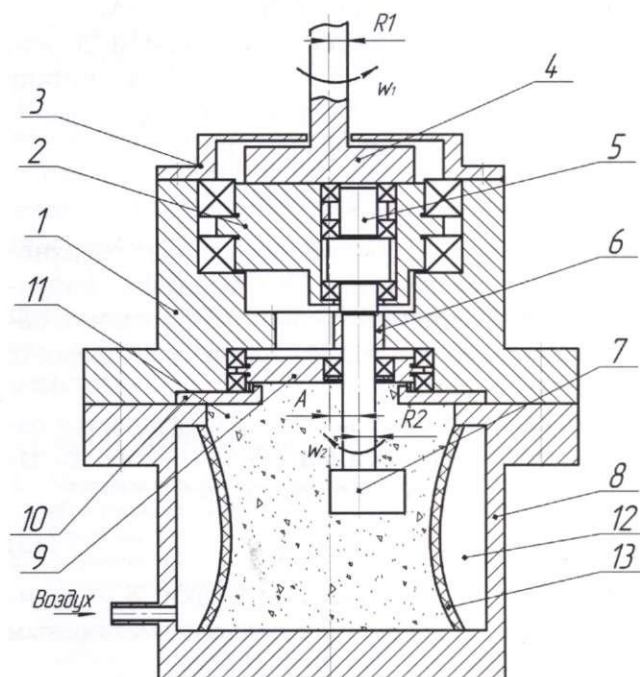


Рис. 2. Схема установки

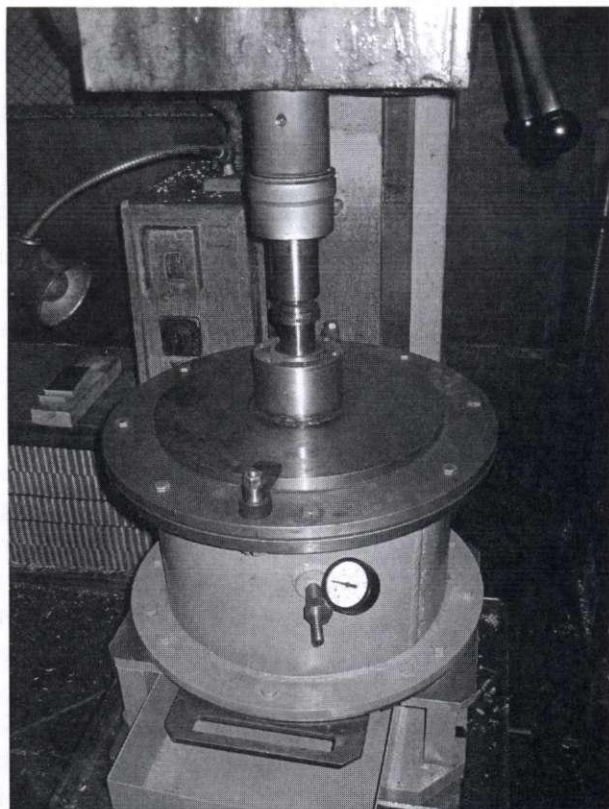


Рис. 1. Промышленная установка

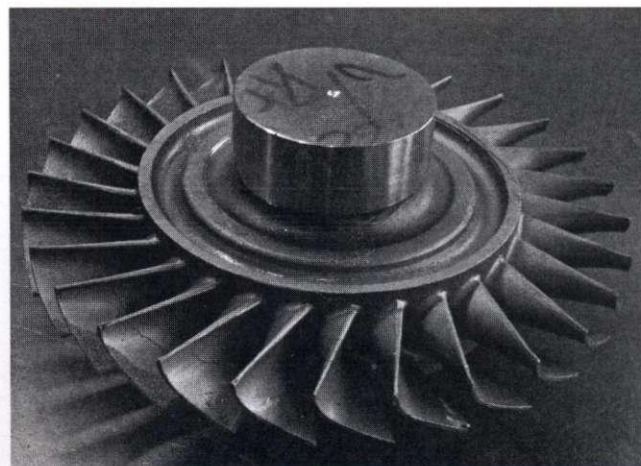


Рис. 3. Колесо турбины турбокомпрессора дизеля

ется за счет контакта зубчатого венца b на валу с оправкой с зубчатой поверхностью крышки I устройства. В данном устройстве деталь с угловой скоростью ω_2 совершает планетарное движение на малых межосевых расстояниях, обеспечивая при этом равномерный съем металла по всем поверхностям деталей сложного профиля.

Межосевое расстояние A между входным валом и валом с оправкой выбирается из условия:

$$A \leq R_1 + R_2, \quad (1)$$

где R_1 — радиус входного вала, R_2 — радиус вала-оправки.

Для обработки деталей на базовой установке с межосевым расстоянием, равным 20 мм, сопротивление абразивной среды F_1 в единицу времени при угловой скорости $\omega = \omega_2 = 5$ рад/с определяем по формуле:

$$F_1 = SK_c PV, \quad (2)$$

где S — величина, пропорциональная поверхности сопротивления, K_c — коэффициент сопротивления абразивной среды, P — плотность обрабатываемой среды, V — линейная скорость движения детали.

Так как движение заготовки совершается вокруг центральной оси устройства, скорость заготовки определяется по формуле:

$$V = \omega R, \quad (3)$$

где ω — угловая скорость заготовки, R — радиус окружности вращения с большим межосевым расстоянием.

Сопротивление абразивной среды определяют по следующей зависимости:

$$F_1 = SK_c P \omega R. \quad (4)$$

При использовании новой конструкции установки для абразивной обработки, обеспечивающей круговое движение на малых межосевых расстояниях, появилась возможность уменьшить межосевое расстояние A до 5 мм. Следовательно, сопротивление абразивной среды при обработке детали [6] будет определяться по следующей формуле:

$$F_1 = 0,25 SK_c P \omega R, \quad (5)$$

а сопротивление абразивной среды при обработке детали на базовой установке по зависимости:

$$F_2 = SK_c P \omega R. \quad (6)$$

Отношение сопротивлений абразивной среде при обработке деталей на новой и базовой установках определяется как:

$$\frac{F_1}{F_2} = 0,25. \quad (7)$$

Отношение радиусов относительно центра вращения, следовательно, сопротивление абразивной среды на обрабатываемую деталь в новой установке относительно установки с большим межосевым расстоянием, вычисляется по формуле:

$$F_1 = \frac{F_2}{\frac{R_2}{R_1}}, \quad (8)$$

где R_2 — радиус вращения с межосевым расстоянием больше суммы радиусов валов, R_1 — радиус вращения с межосевым расстоянием меньше суммы радиусов двух валов.

При различных межосевых расстояниях на новой и базовой установках при обработке деталей сложного профиля незакрепленной мелкодисперсной абразивной средой на новой конструкции установки (см. рис. 1) сопротивление абразивной среды снижается в $\frac{20}{5} = 4$ раза.

Рассчитан также прогиб оправки при абразивной обработке на новой установке с использованием программы Solid Works 2016. При симуляции в программном продукте исследования нагрузок на оправку и деталь, обрабатываемой в устройстве (рис. 4), давление абразивной среды составило 0,2 МПа. Экспериментально установлено, что обработка поверхностей сложной формы колес турбин из труднообрабатываемых литейных сплавов марки ЖСЗДК с твердостью 40—45 HRC и исходной шероховатостью поверхности $Ra = 3,2$ мкм на новой конструкции установки дает возможность уменьшить шероховатость обработанной поверхности с $Ra = 3,2$ —2,5 мкм до $Ra = 0,80$ —0,63 мкм. При этом на 8—10% повышается микротвердость поверхностного слоя на глубине 30—50 мкм.

Так как радиус вращения детали при ее обработке на базовой установке в 4 раза больше, чем в новой, следовательно, для работы новой установки, как показали экспериментальные

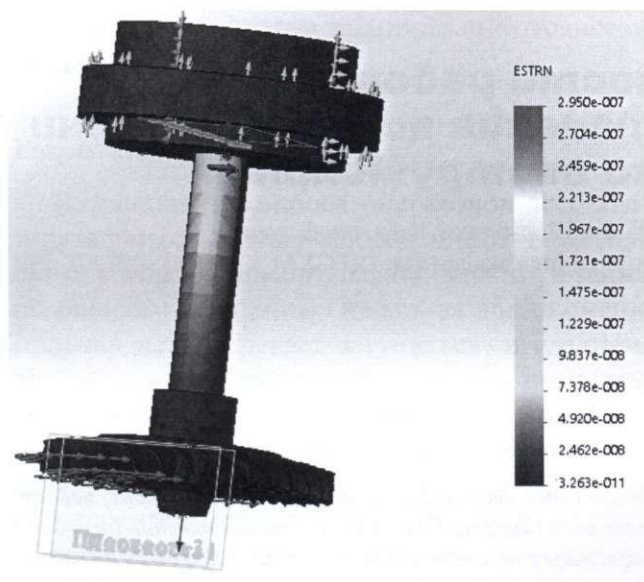


Рис. 4. Результаты исследования деформаций в конструкции

исследования, требуется мощность двигателя в 4 раза меньше, чем в установке с увеличенным межосевым расстоянием A . Экономия средств S при работе 1 ч на данной установке (рис. 5) составит:

$$S = (N_{\phi 2} - N_{\phi 1})a, \quad (9)$$

где a — стоимость 1 кВт, $N_{\phi 2}$ — фактическая мощность двигателя для устройства с межосевым расстоянием больше суммы радиусов валов, $N_{\phi 1}$ — фактическая мощность двигателя для устройства с межосевым расстоянием меньше суммы радиусов валов.

Подставив значения в формулу (9), получим:

$$S = (8 - 2) \cdot 3,53 = 21,18 \text{ руб.}$$

Экономия в год S_r при 2-сменном графике составила:

$$S_r = 21,18 \cdot 3968 = 84042,24 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости новой конструкции установки составил 38 месяцев.

Исходя из изложенного выше, можно сделать следующие выводы.

1. Установлено, что при обработке сложнопрофильных деталей типа колес турбин турбокомпрессора наиболее эффективным способом является камерная обработка уплотненными мелкодисперсными абразивными средами с применением оборудования, состоящего из рабочей камеры и установленной в ней эластичной

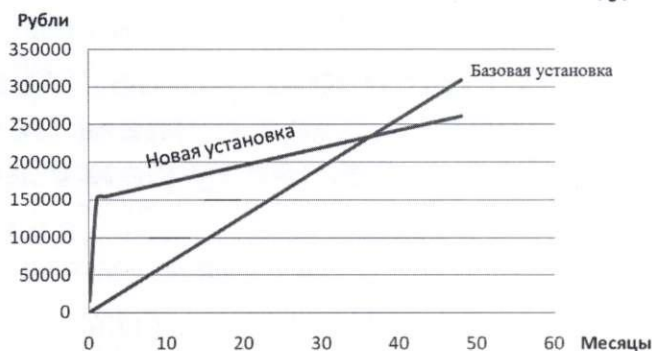


Рис. 5. Сравнение затрат при использовании базовой и новой установок в течение 48 месяцев

оболочкой, с помощью которой давлением сжатого воздуха обеспечивается поджатие обрабатываемой среды к поверхности детали.

2. Предложена новая конструкция установки, позволяющая обеспечить планетарное вращение детали при малом межосевом расстоянии оправки с деталью и шпинделем устройства, что повышает качество обработки деталей и уменьшает энергетические затраты.

3. Изучен характер воздействия абразивной среды на поверхность обрабатываемой детали, что дает возможность определить режимные параметры обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мартынов А.Н. Основы метода обработки деталей свободным абразивом, уплотненным инерционными силами. Саратов: Саратов. Гос. техн. ун-т. 1981. 212 с.
2. Зверовщиков В.З. Динамика центробежной обработки деталей дискретным шлифовальным материалом. Пенза: Изд-во ПГУ. 2005. 200 с.
3. Зверовщиков В.З., Зверовщиков А.Е. Динамические характеристики уплотненной массы рабочей загрузки при объемной центробежной обработке деталей // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2007. № 1. С. 140—150.
4. Зверовщиков А.Е. Расширение технологических возможностей объемной центробежно-планетарной обработки // Научные технологии в машиностроении. 2013. № 7. С. 17—23.
5. Зверовщиков А.Е. Многофункциональная центробежно-планетарная обработка. М.: Изд-во «Инфра-М». 2016. 176 с.
6. Скрыбин В.А., Схиртладзе А.Г. Технологическое обеспечение качества обработки сложнопрофильных деталей уплотненными мелкодисперсными средами. Старый Оскол: Изд-во «Тонкие наукоемкие технологии». 2015. 240 с.
7. Патент 1803308 (РФ), МКИ: B24V 31/104. Способ обработки деталей / В.А. Скрыбин. Оpubл. 23.03.93. Бюл. № 11.
8. Схиртладзе А.Г., Скрыбин В.А. Технология ремонта деталей металлургических машин пластическим деформированием // Технология металлов. 2017. № 9. С. 36—40.
9. Скрыбин В.А. Технология ремонта деталей механизмов перемещения кранов и приводов управления // Ремонт, восстановление, модернизация. 2019. № 7. С. 8—16.
10. Скрыбин В.А., Схиртладзе А.Г. Обеспечение правильности монтажа и эксплуатации пневмотранспортных установок при ремонте изделий // Ремонт, восстановление, модернизация. 2019. № 1. С. 3—6.