



УДК 621.923.01.

Совершенствование технологии абразивной доводки при изготовлении или ремонте элементов трубопроводной арматуры

В.А. СКРЯБИН, д-р техн. наук, профессор, С.А. ГУСЕВ, аспирант

Российская Федерация ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», г. Пенза, 440026,

Российская Федерация

E-mail: vs_51@list.ru

DOI: 10.31044/1684-2561-2026-0-2-3-10

Поступила в редакцию 30.09.2025

После доработки 30.10.2025

Принята к публикации 05.11.2025

В статье рассмотрены вопросы совершенствования технологии абразивной доводки при изготовлении или ремонте элементов трубопроводной арматуры, а также вопросы достижения качества поверхностей ремонтируемых деталей, эффективных режимных параметров и условий на оборудовании для абразивной доводки с применением притирочных инструментов и выделены основные схемы процесса абразивной доводки, применяемые в процессе производства.

Ключевые слова: совершенствование технологии, абразивная доводка, режимные параметры, достижение требуемого качества уплотнительных поверхностей, притирочный инструмент, основные схемы процесса абразивной доводки.

The article discusses the issues of improving the technology of abrasive finishing in the manufacture or repair of pipeline fittings. The issues of achieving the quality of surfaces of repaired parts, effective operating parameters and conditions on equipment for abrasive finishing using lapping tools are also studied. The main schemes of the abrasive finishing process used in the production process are highlighted.

Keywords: technology improvement, abrasive finishing, operating parameters, achieving the required quality of sealing surfaces, lapping tool, basic schemes of the abrasive finishing process.

Введение

При проектировании технологического процесса изготовления или ремонта уплотнительных поверхностей трубопроводной арматуры на финишных операциях этот технологический процесс должен быть разработан и задокументирован. Под конкретную задачу изготовления должна быть разработана детальная технология, в которой разрабатываются конкретные режимы работы на данном оборудовании, описываются технологические приемы, обеспечивающие в конечном итоге заданное качество и производительность процесса обработки [1—3].

Материалы и методы

Доводкой (притиркой) называют процесс финишной обработки, при котором абразивные зерна свободно распределены в доводочной пасте или суспензии. Особенность такого процесса притирки заключается в том, что конечная цель «герметичность» достигается в ущерб сохранению формы сопрягаемых поверхностей. При доводке достигается главная цель — обеспечение наибольшего прилегания поверхностей друг к другу, что необходимо для герметичности арматуры. Доводка (притирка) широко применяется для окончательной обработки плоских, цилиндрических, сферических

и конических поверхностей, обеспечивая высокое качество поверхности ($R_a = 0,050—0,025$ мкм). Притирка подразделяется на предварительную и окончательную. При предварительной притирке оставляют припуск $0,01—0,02$ мм, при окончательной — $0,003—0,005$ мм. При доводке обеспечивается точность размеров и геометрической формы детали (до $0,001—0,002$ мм). Качество притертых поверхностей изделия проверяют на непроницаемость (газов или жидкостей), на просвет (для узких поверхностей) и на краску. В процессе притирки или доводки температура обрабатываемой детали не должна превышать $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, так как повышенный нагрев может привести к короблению поверхности и вызвать ошибки при измерении. Замер изделия производят после его охлаждения до температуры окружающей среды ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Доводку осуществляют абразивными и алмазными микропорошками и притирами из различных материалов. Деталь перемещают относительно притира (или наоборот) со скоростью $5—100$ м/мин. По производственным и литературным данным [4—7] давление при черновой притирке находится в диапазоне $0,12—0,2$ МПа, а при чистовой притирке изменяется в пределах $0,05—0,12$ МПа. Инструментом при доводке является притир, на поверхность которого наносится паста или суспензия. Процесс доводки можно разделить на два этапа. Сущность доводки заключается в том, что на первом этапе в процессе диспергирования материала, исправляется форма и изменяются размеры обрабатываемой поверхности, а на втором этапе происходит трение с пластическим оттеснением материала, при котором уменьшается высота неровностей, «выглаживается» обрабатываемая поверхность. Первый этап может состоять из нескольких переходов в зависимости от исходной шероховатости поверхности и от того параметра шероховатости, который необходимо получить. Другими словами, чем больше раз-

ница в шероховатости исходной и конечной поверхности, тем больше переходов приходится делать на первом этапе доводки, при этом с каждым переходом уменьшается размер абразивных зерен в составе пасты или суспензии и, соответственно, уменьшается шероховатость поверхности. Могут быть случаи, когда качество поверхности, подготовленной под притирку находится близко к конечному. Тогда первый этап может быть пропущен и требуется выполнение лишь второго этапа, во время которого резание не происходит, а выполняется лишь пластическая деформация микронеровностей — выглаживание поверхности. Именно этот этап позволяет получить необходимую максимальную чистоту поверхности. Применяемые при доводке, химически активные жидкости (олеиновая кислота, стеарин и др.), способствуют ускорению процесса доводки. Следует избегать при доводке разрыва граничного слоя смазки, чтобы не допустить схватывания на отдельных участках контакта притира с обрабатываемой поверхностью и, следовательно, ухудшения качества обработанной поверхности. Поэтому в доводочные смеси добавляют масло или жиры животного происхождения для придания им оптимальной вязкости.

Качественные характеристики, достигаемые доводкой, гарантированно обеспечивают взаимозаменяемость при сборке после отдельной обработки деталей, обрабатывающая среда может быть в форме абразивных зерен, абразивной суспензии или абразивной пасты. При применении свободного абразива много времени затрачивается на промывку обрабатываемых поверхностей и нанесение паст, а поверхность детали интенсивно шаржируется абразивными зернами, что при эксплуатации приводит к задирам поверхности и снижению износостойкости. При доводке действуют те же факторы, что и при абразивном изнашивании поверхностей деталей машин в процессе их эксплуатации. Однако в процессе

притирки для обеспечения высокой производительности и стабильности качества обработки заготовка должна находиться в условиях ускоренного абразивного разрушения, а притиры в условиях минимального абразивного износа. Притиры изготавливают из стали, чугуна, меди, бронзы, стекла, твердых и вязких пород дерева. Наиболее распространены притиры из серого чугуна. Почти все доводочные станки оснащены чугунными дисками-притирами. Они предназначены в основном для доводки закаленных стальных деталей твердостью не ниже 50 HRC. К отливкам для изготовления чугунных притиров предъявляются определенные требования: они должны иметь плотную и однородную структуру в сечениях по всем направлениям; основную массу ее должен составлять мелкопластинчатый перлит при незначительной части феррита и выделениях графита в виде мелких завыренных чешуек; твердость отливки должна составлять 190—230 HB. Для дисков-притиров используют чаще всего серый чугун твердостью 180—220 HB. Поверхностно-активные вещества необходимо применять для связывания и удаления шлама при доводке. Шлам — это материал пасты или суспензии, загрязненный частицами снимаемого материала поверхности и переставший работать по своему назначению. Кроме того от обрабатываемого материала зависит и концентрация кислот в пасте или суспензии. Его наличие должно быть достаточным, чтобы помогать сглаживать профиль поверхности, но при этом чрезмерно не разъедать ее. Состав рабочей притирочной пасты или суспензии разрабатывают в процессе создания технологического процесса под конкретную задачу. Поэтому от заказчика необходимо получить максимальную исходную информацию. Притирочную пасту и абразивную суспензию применяют в следующих случаях. Паста содержит большой процент загустителя и ее можно наносить и удалять только ручным способом. Она

не требует устройства механизированной подачи ее в зону обработки. Станок в этом случае имеет более простую конструкцию, но требует большего участия рабочего в процессе доводки, так как необходимо через достаточно короткие промежутки времени удалять отработанную и загрязненную пасту и наносить новую. Суспензия имеет в своем составе аналогичный абразивный материал и обладает жидкотекучестью за счет наличия большего содержания минерального масла и керосина. Это позволяет механизировать ее подачу в зону обработки и соответственно сбор ее по мере выхода из зоны обработки. Станок при этом имеет в своем составе насос для подачи суспензии, емкость для ее концентрации и трубопровод для подвода непосредственно в зону обработки. К недостаткам этого метода относится то, что абразивная суспензия, проходя по элементам насоса и трубопровода, воздействует на них своей абразивной способностью и изнашивает их. Кроме того, периодически необходимо менять суспензию по мере ее насыщения шламом. Процесс это достаточно трудоемок. В самом же процессе доводки участие рабочего минимально. На шероховатость притираемой поверхности существенно влияют свойства притирочных материалов и их зернистость, сила давления на деталь и материал притира. Для достижения высокой производительности при притирке важное значение имеет правильный выбор абразивного материала. Самыми распространенными являются корунд, электрокорунд (нормальный и белый), карбиды кремния и бора. По размерам зерна шлифпорошки и микропорошки делят на три группы: шлифпорошки зернистостью от 5 до 3 — для грубой доводки, обеспечивающие получение параметра шероховатости R_a от 0,32 до 0,08 мкм; микропорошки от M28 до M14 — для предварительной доводки, которыми достигается значение $R_a = 0,020$ мкм и микропорошки от M10 до M5 для окончательной доводки,

позволяющие получить шероховатость R_z от 0,100 до 0,025 мкм.

Кроме абразивных материалов применяют различные пасты, которые также можно разбить на три группы [7]: абразивные пасты на основе электрокорунда, карбида кремния и карбида бора, алмазные пасты на основе синтетических алмазов; химико-механические пасты на основе оксида хрома. Для предварительной и чистовой притирки рекомендуются пасты следующего состава:

1) электрокорунд белый М10—М14 в смеси с олеиновой кислотой, густота пасты должна соответствовать густоте технического вазелина при 20 °С; 2) электрокорунд белый № 5 в смеси с олеиновой кислотой той же густоты, что и предыдущая паста.

Пасты из синтетических алмазов применяют для окончательной операции доводки (параметр шероховатости R_a от 0,160 до 0,020 мкм и R_z от 0,100 до 0,025 мкм). Наилучшие результаты получаются при обработке наиболее твердых и хрупких материалов, например азотированной стали, твердых сплавов и стекла. Используя алмазные пасты вместо абразивных из электрокорунда, карбида кремния и оксида хрома (при той же зернистости), можно увеличить производительность в 2—3 раза и более, а также улучшить шероховатость обработанной поверхности. Выпускают следующие алмазные пасты: нормальные (Н) — с концентрацией алмазного порошка 2%; повышенные (П) — с концентрацией алмазного порошка 5%; высокие (В) — с концентрацией алмазного порошка 10%. Пасты поставляются расфасованными в тубах или шприцах по 5, 10, 20, 40 и 80 г. Стойкость эльборовых паст при одинаковых технологических условиях обработки уплотнительных поверхностей в 1,5—2 раза выше, чем паст из синтетических алмазов, и в 3—5 раз выше, чем обычных абразивных паст. Притирку и доводку пастами и порошками из эльбора следует применять там, где требуется улучшение шероховатости

уплотнительной поверхности притираемых деталей до значений $R_a = 0,16—0,02$ мкм). В процессе трения при радиальном давлении поверхности притира на обрабатываемую поверхность детали зерна вдавливаются в более мягкую поверхность притира и снимают с обрабатываемой поверхности тончайшую стружку. Химическое воздействие паст объясняется наличием в пасте олеиновой кислоты и других элементов, образующих на обрабатываемой поверхности вместо прочной оксидной пленки более мягкую пленку, которая легко снимается с поверхности детали, чем обеспечивается лучшая шероховатость и производительность притирки.

Режимы притирки и доводки. Производительность процесса доводки и достигаемые при этом точность и шероховатость поверхности зависят не только от природы абразивного инструмента, но и от ряда других условий: скорости перемещения притира, его точности, удельного давления между притиром и деталью, размера зерна, способа подачи доводочного материала, припуска на доводку и др.

Скорость перемещения притира. С увеличением скорости перемещения притира до 4 м/с производительность процесса возрастает прямо пропорционально скорости. При доводке шаржированными притирами дальнейшее увеличение скорости приводит к чрезмерному нагреву деталей. При доводке абразивной суспензией увеличение скорости снижает производительность вследствие большой центробежной силы, которая стремится отбросить абразивную суспензию от центра притира. При механической доводке плоских и цилиндрических наружных поверхностей оптимальные скорости вращения притира составляют для предварительной доводки 15—20 м/с и для окончательной — 4 м/с. Скорость возвратно-поступательного движения деталей составляет 0,2—0,4 скорости вращения притира.

Удельное давление. Производительность процесса тем больше, чем выше давление между притирами и деталью. Эта зависимость сохраняется до 0,3 МПа. Чрезмерно большие давления приводят к быстрому раскалыванию или истиранию абразивного зерна и к снижению производительности, вызывая нагревание трущихся поверхностей, что приводит к деформации деталей и к снижению точности. Чрезмерное увеличение давления может также вызвать задир на поверхности притира.

Припуск на притирочно-доводочных операциях составляет в среднем на предварительных операциях 0,02—0,05 мм (в некоторых случаях может быть доведен до 0,1—0,2 мм), на окончательных операциях — 3—5 мкм.

Распределение усилий при доводке. Для предотвращения завалов и перекосов на доведенной поверхности необходимо правильно распределить усилия, прилагаемые к детали, а также определить центр тяжести детали, перемещаемой по притиру. Для этого должны быть выполнены следующие условия: вертикальное усилие, т.е. давление на притир, прилагается перпендикулярно к его рабочей поверхности, а точка его приложения должна находиться не в центре, а несколько ближе к краю обрабатываемой поверхности. Производительность доводки при проведении доводочных и полировочных операций прямо пропорциональна величине зерна микропорошка и увеличивается с ее ростом, шероховатость обработанной поверхности снижается при применении паст с более крупным зерном. Зернистость пасты следует выбирать, исходя из требуемой шероховатости обрабатываемой поверхности, постепенно переходя от пасты с более крупным зерном к более мелкозернистой пасте. Пасту наносят на притир или обрабатываемую поверхность детали тонким слоем. При переходе от обработки поверхности крупнозернистой пастой на обработку мелкозерни-

стой или от абразивной доводки на доводку пастами из эльбора необходимо тщательно очистить и промыть обрабатываемые детали и притиры керосином и бензином или водой в зависимости от состава применяемой пасты. Наиболее эффективно применение паст из эльбора при механизации процессов доводки и притирки. В таблице приведены практические рекомендации по режимам и условиям процесса доводки (притирки) для различных материалов уплотнительных поверхностей деталей трубопроводной арматуры, обрабатываемых на притирочно-доводочных станках.

Обсуждение результатов

Руководствуясь вышеизложенным материалом, можно выделить основные схемы процесса абразивной доводки, применяемые в процессе производства [7, 8].

1. Доводка с непрерывной подачей суспензии (смесь с малой концентрацией абразивных зерен) обеспечивает более высокую производительность процесса, но меньшую точность и шероховатость поверхности $R_a = 0,08—0,32$ мкм.

2. Доводка с нанесением абразивной пасты на притир осуществляется смесью с повышенной концентрацией абразивных зерен. Производительность при этом несколько снижается, но повышается точность обработки и уменьшается шероховатость обработанной поверхности.

3. Доводка шаржированным притиром — это срезание гребешков исходной шероховатости зернами, вдавленными в притир. Этот метод менее производителен, но обеспечивает высокую точность и незначительную шероховатость обработанной поверхности.

4. Доводка монолитным алмазным притиром выполняется дисками, имеющими на рабочей поверхности алмазный слой. Это наиболее производительный метод до-

Практические рекомендации по режимам и условиям процесса доводки (притирки)

Наименование материала уплотнительной поверхности	Среда	P_N , МПа (кгс/см ²)	Твердость притира и его материал	Этапы доводки (притирки)				Тонкая	
				Предварительная		Окончательная		Абразивный материал и его зернистость	Смазка
				Абразивный материал и его зернистость	Смазка	Абразивный материал и его зернистость	Смазка		
Коррозионно-стойкая, жаропрочная, жаростойкая стали	Азотная кислота, пищевые и коррозионные среды	До 6,4 (до 64)	Серый чугун 143—241 НВ	Электрокорунд нормальный шлиф-порошок 5, 4	Масло индустриальное И-20А ГОСТ 20799—88	Электрокорунд белый микрошлиф-порошок М28	Масло индустриальное И-12А, И-20А ГОСТ 20799—88	Микропорошок АСМ 7/10	Керосин ОСТ 38-01408—86
				Карбид бора шлифпорошок 8-5 ГОСТ 5744—85	Масло «Сульфрезол» ОСТ 38.01445—88 или керосин ОСТ 38-01408—86	Микропорошок АСМ 20/14	Кислота олеиновая ТУ 6-09-5290—86		
	Вода, пар, масло, нефть	До 10 (до 100)	Деталь по детали	Карбид бора шлифпорошок 5,4 ГОСТ 5744—85	Кислота олеиновая ТУ 6-09-5290—86, масло индустриальное И-12А, И-20А ГОСТ 20799—88	Электрокорунд нормальный микрошлиф-порошок М40	Кислота олеиновая ТУ 6-09-5290—86, масло индустриальное И-12А, И-20А ГОСТ 20799—88	Электрокорунд белый микрошлиф-порошок М28, М14	Кислота олеиновая ТУ 6-09-5290—86, масло индустриальное И-12А, И-20А ГОСТ 20799—88
						Микропорошок АСМ 40/28	Кислота олеиновая ТУ 6-09-5290—86		
Вода, перегретый пар, жидкие нефтепродукты		До 6,4 (до 64)	Серый чугун 143—241 НВ	Электрокорунд нормальный микрошлиф-порошок 5, 4	Масло индустриальное И-12А, И-20А ГОСТ 20799—88	Электрокорунд белый микрошлиф-порошок М28	Масло индустриальное И-12А, И-20А ГОСТ 20799—88	Паста ГОИ ТУ 6-10988—78	Масло индустриальное И-12А, И-20А ГОСТ 20799—88
						Электрокорунд нормальный микрошлиф-порошок М40	Керосин ОСТ 38-01408—86, бензин ГОСТ 3134—78, стеарин ГОСТ 6884—64		

Наименование материала уплотнительной поверхности	Среда	P_N , МПа (кгс/см ²)	Твердость притира и его материал	Этапы доводки (притирки)					
				Предварительная		Окончательная		Тонкая	
				Абразивный материал и его зернистость	Смазка	Абразивный материал и его зернистость	Смазка	Абразивный материал и его зернистость	Смазка
Наплавка высоколегированная	Аммиак	До 2,5 (до 25)		Электрокорунд нормальный микрошлиф-порошок 5, 4	Масло индустриальное И-20А ГОСТ 20799—88	Электрокорунд нормальный микрошлиф-порошок М28	Масло индустриальное И-20А ГОСТ 20799—88	Микропорошок АСМ 20/14	Кислота олеиновая ТУ 6-09-5290—86, керосин ОСТ 38-01408—86, бензин ГОСТ 3134—78, стеарин ГОСТ 6884—64
					Масло индустриальное И-20А ГОСТ 20799—88	Электрокорунд белый микрошлиф-порошок М28	Масло индустриальное И-20А ГОСТ 20799—88	Паста ГОИ ТУ 6—10988—78	Масло индустриальное И-20А ГОСТ 20799—88
					Масло индустриальное И-20А ГОСТ 20799—88	Электрокорунд белый микрошлиф-порошок М28	Масло индустриальное И-20А ГОСТ 20799—88	Микропорошок АСМ 10/7	Керосин ОСТ 38-01408—86
	Вода, пар, неагрессивная среда	До 4 (до 40)	Серый чугун 143—241 НВ	Масло индустриальное И-12А, И-20А ГОСТ 20799—88	Электрокорунд белый микрошлиф-порошок М28	Масло индустриальное И-12А, И-20А ГОСТ 20799—88	Микропорошок АСМ 10/7	Керосин ОСТ 38-01408—86	
				Масло индустриальное И-12А, И-20А ГОСТ 20799—88	Электрокорунд белый микрошлиф-порошок М28	Масло индустриальное И-12А, И-20А ГОСТ 20799—88	Микропорошок АСМ 10/7	Керосин ОСТ 38-01408—86	
				Масло «Сульфол» ОСТ 38.01445—88 или керосин ОСТ 38-01408—86	Карбид бора шлифпорошок 8-5 ГОСТ 5744—85	Масло «Сульфол» ОСТ 38.01445—88 или керосин ОСТ 38-01408—86	Карбид бора шлифпорошок 8-5 ГОСТ 5744—85	Карбид бора шлифпорошок 8-5 ГОСТ 5744—85	

водки, однако, он не позволяет полностью использовать режущие возможности алмазного слоя.

Финансирование работы

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет». Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Авторы данной работы заявляют, что при подготовке статьи технологии искусственного интеллекта не использовались.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ящерицын П.И., Зайцев А.Г., Барботько А.И. Тонкие доводочные процессы обработки деталей машин и приборов. Минск: Наука и техника, 1976. 328 с.
2. Орлов П.Н. Технологическое обеспечение качества деталей методами доводки. М.: Машиностроение, 1988. 388 с.
3. Сейнов С.В. Технологии и оборудование для притирки уплотнений арматуры // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2002. № 2. С. 8—13.
4. Sarda, S. P., Le Tirant, P., Baron, G. Influence des contraintes et de la pression de fluide sur le coulement dans les rocked fissurees // Advances of Rock Mechanics. Washington. 2004. V. 2. Part A. P. 667—673.
5. Jakob Vust, Claser H. Eine Methode der naherungswerte fur Metalledichtungen der ND-Technik anhand mechanischen Ersatzmodelle-4 // Jnt. Dichtungstag. Dresden. 2004. P. 420—444.
6. Карасев Н.Я., А.Г. Абразивное воздействие обрабатывающей среды на поверхность деталей // Приводная техника. 2013. № 2. С. 35—41.
7. Скрябин В.А., Схиртладзе А.Г., Зинкин С.В. Математические модели технологических параметров процесса абразивной доводки // Технология металлов. 2013. № 12. С. 39—42.
8. Скрябин В.А., Павлова Ж.В. Модернизация переносного станка для шлифования и притирки уплотнительных поверхностей затворов задвижек трубопроводной арматуры // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2015. № 2. С. 8—13.

