

УДК 620.179

DOI: 10.22213/2410-9304-2023-2-16-26

Выявление дефектов цилиндра глубинно-штангового насоса после ионного азотирования*

А. С. Хомутов, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия
В. В. Муравьев, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Исследовано влияние процессов ионного азотирования на деформацию цилиндров глубинно-штанговых насосов, изготовленных из трубной заготовки, марка стали 38Х2МЮА. Описан анализ основных дефектов в образцах цилиндров глубинно-штанговых насосов, получаемых после проведения упрочнения внутренней поверхности цилиндра методом ионного-плазменного азотирования. В процессе исследования отобраны несколько образцов цилиндров глубинно-штанговых насосов, подвергнутых механической обработке согласно технологическому процессу и химико-термической обработке внутреннего рабочего диаметра цилиндров методом ионного азотирования. Изготовленные образцы проконтролированы с помощью прибора «Аэротест» «Цилиндр ШГН-Р» – на предмет соответствия фактических параметров внутреннего диаметра цилиндра требованиям конструкторской документации. В дальнейшем из цилиндров изготовлены образцы-свидетели, с помощью которых проведена проверка твердости азотированного слоя и металлографический анализ микроструктуры азотированного слоя. В результате исследования выявлено наличие отклонений формы и размеров внутреннего диаметра цилиндров, которые были классифицированы по двум типам: кольцевая и овальная деформация. Результаты металлографического исследования и проверки твердости показали наличие отклонения по поверхностной твердости и отклонения от штатной микроструктуры азотированного слоя. Структура азотированного слоя деформированных образцов имеет вне зависимости от типа дефекта крупные включения нитридов на поверхности и рыхлый азотированный слой. На дефектных образцах отсутствует необходимая высококачественная нитридная зона с повышенной твердостью для обеспечения высоких антикоррозионных и триботехнических свойств, определяющих ресурс работы цилиндра глубинно-штангового насоса. Определены и классифицированы основные виды дефектов, возникающие в процессе упрочнения внутреннего рабочего диаметра цилиндра. Исследована и описана микроструктура азотированного слоя в штатном образце и образцах с дефектами. Установлена взаимосвязь дефектов структуры азотированного слоя и геометрических параметров внутреннего диаметра цилиндра.

Ключевые слова: цилиндры глубинно-штанговых насосов, ионное азотирование, деформация, металлография, дефекты.

Введение

Погружные глубинно-штанговые насосы широко известны в мире и применяются при механизированной добыче нефти, их конструкция имеет устоявшийся состав узлов и требований по геометрическим параметрам и материальному исполнению [1, 2]. Изучение и исследование основополагающих факторов и процессов, влияющих и участвующих в технологическом процессе изготовления цилиндра, является одной из актуальных задач, направленных на получение требуемых параметров изделия [3, 4]. Технологические параметры обработки, такие как температура, состав газа, давление, продолжительность насыщения, оказывают влияние на механические свойства обрабатываемых сталей. Изменение параметров обработки может при-

вести к интенсификации процесса, изменению фазового состава, твердости и толщины модифицированных слоев [5]. Совокупность применения данных технологических параметров и заданных свойств применяемого материала определяет качественные характеристики цилиндра.

Проведенные авторами [6] исследования на сталях Х12МФ, 38ХМЮА, 30Х3Ф позволили получить зависимости влияния продолжительности азотирования при разных температурах на глубину азотированного слоя и получаемую твердость. Ими получены диаграммы влияния температуры азотирования на механические свойства сталей.

Получаемая высокая твердость азотируемого слоя и увеличение объема за счет диффузии

© Хомутов А. С., Муравьев В. В., 2023

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00252, <https://rscf.ru/project/22-19-00252> с использованием УНУ «Информационно-измерительный комплекс для исследований акустических свойств материалов и изделий» (рег. номер: 586308).

атомов азота в сталь приводят к появлению больших напряжений сжатия в азотированном слое (примерно 6000 МПа), которые способствуют короблению деталей [7].

Для выявления дефектов на выходном контроле цилиндров глубинно-штанговых насосов применяют различные методы инструментального контроля и приборы, но проведение данного вида контроля не дает полного понимания физической природы возникающих дефектов и причин возникновения дефектов [8, 9]. Для изучения влияния данных физических процессов требуется проведение более углубленных исследований, включающих в том числе и проведение металлографических исследований микроструктуры образцов цилиндров. Комплексное исследование позволит изучить природу и вероятные причины появления дефектов.

Цель исследований – выявление дефектов, анализ и выяснение возможных причин их возникновения в цилиндрах глубинно-штанговых насосов после упрочнения внутренней поверхности методом ионного азотирования.

Постановка задачи.

Основные технические требования

Одним из основных элементов глубинно-штангового насоса является цилиндр (рис. 1), имеющий определенные требования по геометрии, исполнительным размерам и механическим свойствам.

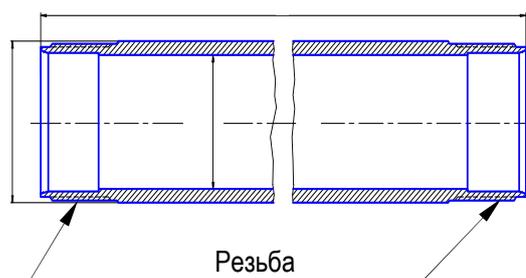


Рис. 1. Эскиз цилиндра глубинно-штангового насоса

Fig. 1. Sketch of the cylinder of a deep-rod pump

Соответствие цилиндра заданным характеристикам является важным условием для выполнения критериев работоспособности насоса и является определяющим фактором, влияющим на ресурс работы комплекса оборудования в целом. При изготовлении внутренняя поверхность цилиндра глубинно-штангового насоса упрочняется ионным азотированием, выполненным по запатентованной технологии «Способ ионно-плазменного азотирования длинномерной стальной детали. Патент РФ № 2528537. 2014». Основные технические требования к цилиндру приведены в табл. 1.

Цилиндры изготовлены из стали марки 38Х2МЮА, химический состав которой приведен в табл. 2.

Таблица 1. Основные технические параметры цилиндра

Table 1. Main technical parameters of the cylinder

Размеры, механические свойства, микроструктура	Значения
Твердость азотированного слоя на внутренней поверхности	Не менее 870 HV
Твердость азотированного слоя на глубине 0,127 мм	Не менее 560 HV
Глубина азотированного слоя	0,35–0,5 мм
Остаточные напряжения	Не более 3,5 МПа
Твердость основного материала	183...243 НВ;
Предел текучести основного материала	$\sigma_T \geq 480$ МПа
Прямолинейность	$\leq 0,125$ мм на 1500 мм
Внутренний диаметр	44,45+0,05 мм
Максимальная разность размеров внутреннего диаметра	Не более 0,03 мм
Длина цилиндра	4267 ± 5 мм
Шероховатость внутренней поверхности	Ra 0,32
Внешний вид	Отсутствие дефектов

Таблица 2. Химический состав материала цилиндра в состоянии поставки

Table 2. Chemical composition of cylinder material as delivered

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	T	Mo
0,38	0,35	0,27	0,009	0,010	1,41	0,09	0,2	0,805	0,006	0,16

Методика измерения геометрических параметров цилиндра

Для проведения измерений внутреннего диаметра отобраны несколько образцов цилиндров.

Контроль внутреннего диаметра цилиндра осуществлялся на установке контроля геометрических параметров цилиндров штангового глубинного насоса (ШГН) «Аэротест» «Цилиндр

ШГН-Р», система управления которой имеет двухуровневую структуру.

Нижний уровень состоит из средств автоматизации – модулей сбора и обработки информации, измерительных приборов, датчиков.

Верхний уровень состоит из станции оператора на базе компьютера со специализированным управляющим программным обеспечением, реа-

лизирующим рабочие диалоги и логику работы программы. Связь уровней осуществляется средствами интерфейса RS-232.

Измерительная оснастка установки представляет собой набор специальных пневматических измерительных пробок и установочных колец (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Пневматические измерительные пробки (а), установочные кольца (б)

Fig. 2. Pneumatic measuring plugs (a), adjusting rings (b)

Пневматическая измерительная пробка является первичным преобразователем, который непосредственно контактирует с поверхностью контролируемого канала в процессе измерения. Для проведения измерений пробка присоединяется к шарнирному переходнику штанги. Штанга предназначена для перемещения измерительной пробки вдоль всего канала контролируемого цилиндра. Установочные кольца служат для настройки прибора, тарировки его шкалы, установки границ поля допуска контролируемой детали.

Принцип действия установки состоит в следующем. Воздух из сети поступает в блок подготовки, где проходит первичную очистку от влаги, масла и пыли. Манометр осуществляет контроль величины давления, установленного с помощью регулятора, расположенного на блоке подготовки воздуха. Для устойчивой работы установки оно должно быть в пределах от 0,4 до 0,6 МПа.

Из блока подготовки через трубки воздух поступает к стабилизаторам давления. После стабилизаторов воздух через входные сопла проходит в камеры противодействия, в которых, в зависимости от проходного сечения вентилях противодействия, сбрасывающих воздух в атмосферу, устанавливается определенное постоянное давление. В результате этого диафрагмы пневмоэлектронных преобразователей давления [10] прогнутся в сторону измерительной камеры. Другая часть воздуха после стабилизатора через входное сопло поступает в измерительную камеру преобразователя и выходит в атмосферу через

зазоры между торцами сопел пробки и поверхностью контролируемого канала трубы.

В зависимости от соотношения проходного сечения входных сопел и проходного сечения зазоров в измерительной камере первого канала устанавливается измерительное давление, в результате чего диафрагма преобразователя занимает положение, соответствующее разности давлений, и в блок обработки информации подается напряжение, соответствующее измеряемому размеру канала трубы.

В блоке обработки информации сигнал, поступающий с преобразователя, обрабатывается по предварительно заданной программе. Результат выдается на монитор системы управления в графическом и числовом виде.

Настройка измерительной системы производится через диалог с оператором в соответствующем разделе ПО (программное обеспечение). Оператор выбирает тип оснастки, для которого будет выполняться настройка, готовит оснастку, подключает пробку к пневмоканалу установки. Подается рабочее давление в пневмоканал и выдерживается в таком состоянии не менее 10 минут, далее приступает к операциям настройки.

Последовательно устанавливают минимальное и максимальное настроечные кольца. В итоге в системе фиксируются настроенные границы допусков внутреннего диаметра цилиндра. Далее проходит проверка показаний пневмопробки по поверочному кольцу. Выбрав в программе проверяемый цилиндр с соответствующим полем

допуска $\varnothing 44,45$ нижний предел, $\varnothing 44,5$ верхний предел. Установив на пневмопробку настроечное кольцо, смотрят значение текущего диаметра, который должен соответствовать размерам настроечных колец.

Контроль диаметра и погрешности формы поперечного сечения канала образцов цилиндров ШГН проводится в следующей последовательности:

- настройка измерительной системы;

- установка контролируемого цилиндра;
- последовательная линейная подача измерительной пробки;
- поворот цилиндра на 90 градусов;
- возврат измерительной пробки в исходное положение с одновременным измерением контролируемого цилиндра.

Схемы расположения измерительной пробки в цилиндре фронтально и сбоку показаны на рис. 3, а, б.

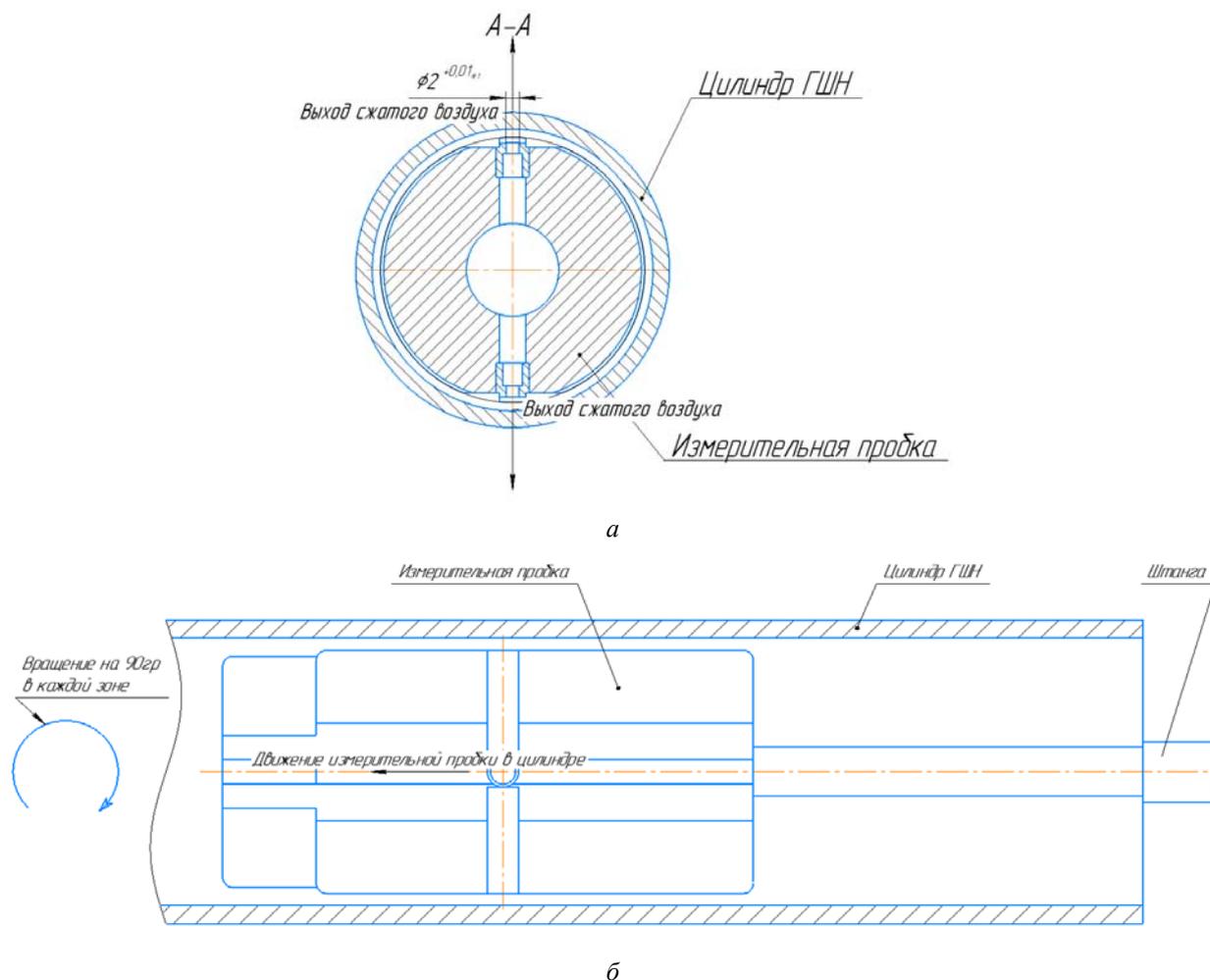


Рис. 3. Схема расположения измерительной пробки в цилиндре, фронтальный вид (а), вид сбоку (б)

Fig. 3. Scheme of the location of the measuring plug in the cylinder, front view (a), side view (b)

Измерение внутреннего диаметра образцов цилиндров производится измерительной пневмопробкой в десяти сечениях. В каждом сечении контроль выполняется в двух перпендикулярных плоскостях с поворотом цилиндра вокруг оси на 90° . Первое сечение – на расстоянии 150 мм от торца цилиндра, далее в 9 сечениях через равные промежутки. Таким образом определяются фактические диаметры и погрешности формы поперечного сечения канала образцов цилиндров.

Результаты измерений. Основные дефекты

В процессе проведения исследования фактических размеров внутреннего диаметра и погрешности формы образцов цилиндров глубинно-штанговых насосов после выполнения операции «термическая обработка», проводимой методом предварительного отпуска детали и последующего проведения ионного азотирования, на готовых изделиях были выявлены дефекты, связанные с отклонением геометрических форм цилиндра. Их можно классифицировать на следующие виды.

Овальная деформация (рис. 4, а, б). Деформация считается овальной, когда разность размеров

внутреннего диаметра в двух взаимно перпендикулярных плоскостях составляет более 0,03 мм.

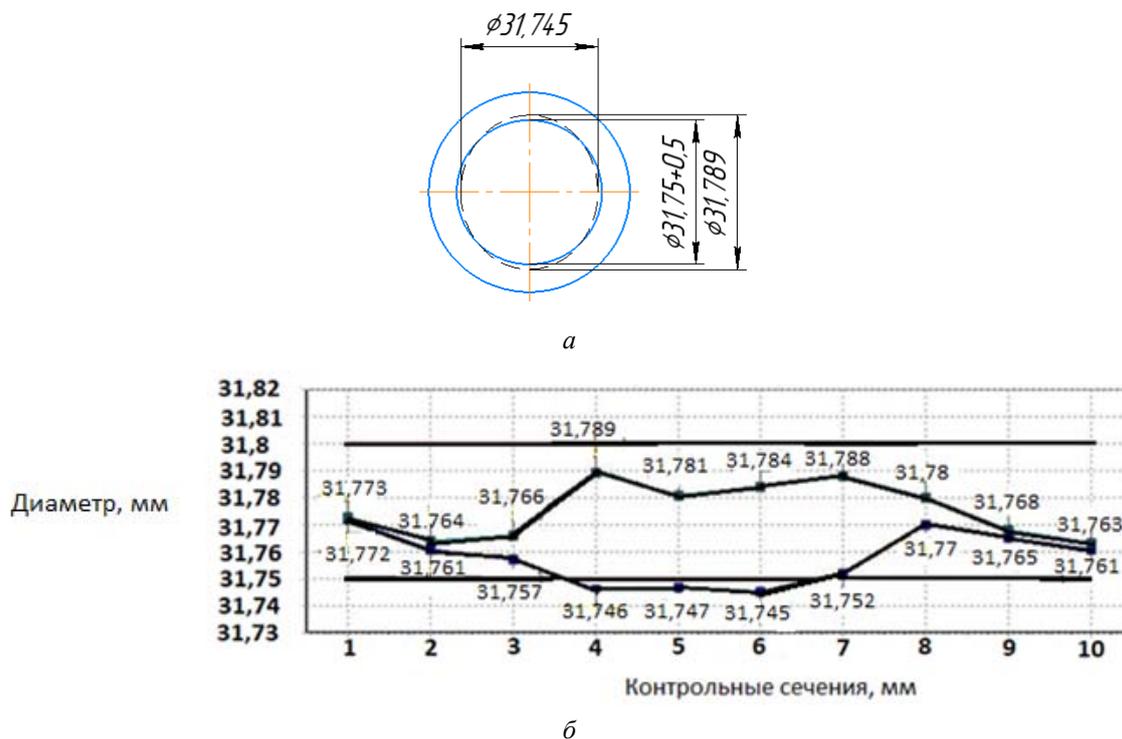


Рис. 4. Пример овальной формы деформации цилиндра (а), графическое изображение овальной деформации цилиндра, при замере прибором «Аэротест» «Цилиндр ШГН-Р» (б)

Fig. 4. An example of an oval cylinder deformation (а), a graphical representation of an oval cylinder deformation, when measured by the Aerotest device "ShGN-R Cylinder" (б)

В результате контроля цилиндра 08114-НН на приборе «Аэротест» наблюдается овальность цилиндра в 4, 5, 6 и 7-м контрольных сечениях. Размеры в 4-м сечении в одной плоскости $\phi 31,789$ мм, в другой плоскости при повороте контрольной пневмопробки под углом 90° размер составляет $\phi 31,746$ мм, погрешность формы составляет 0,043 мм, что не соответствует техническим требованиям, по которым в чертеже погрешность допускается не более 0,03 мм.

Размеры в 5-м сечении в одной плоскости $\phi 31,781$ мм, в другой плоскости при повороте контрольной пневмопробки под углом 90° размер составляет $\phi 31,747$ мм, погрешность формы составляет 0,034 мм, что также не соответствует техническим требованиям.

Размеры в 6-м сечении в одной плоскости $\phi 31,784$ мм, в другой плоскости при повороте контрольной пневмопробки под углом 90° размер составляет $\phi 31,745$ мм, погрешность формы составляет 0,039 мм, что также

является несоответствием техническим требованиям.

Размеры в 7-м сечении в одной плоскости $\phi 31,789$ мм, в другой плоскости при повороте контрольной пневмопробки под углом 90° размер составляет $\phi 31,746$ мм, погрешность формы составляет 0,043 мм, также несоответствие.

Кольцевая деформация (рис. 5, а, б). Деформация является кольцевой, когда разность размеров внутреннего диаметра, измеренная в 2 плоскостях, менее 0,03 мм.

В результате контроля цилиндра 08014-НН на приборе «Аэротест» наблюдается несоответствие размеров цилиндра в 8-м контрольном сечении, размеры в котором в одной плоскости $\phi 31,809$ мм при максимально допустимом диаметре 31,8 мм, отклонение составило 0,009 мм, в другой плоскости при повороте контрольной пневмопробки под углом 90° размер составляет $\phi 31,791$ мм, погрешность формы составляет 0,018 мм, по техническим требованиям в чертеже погрешность не более 0,03 мм.

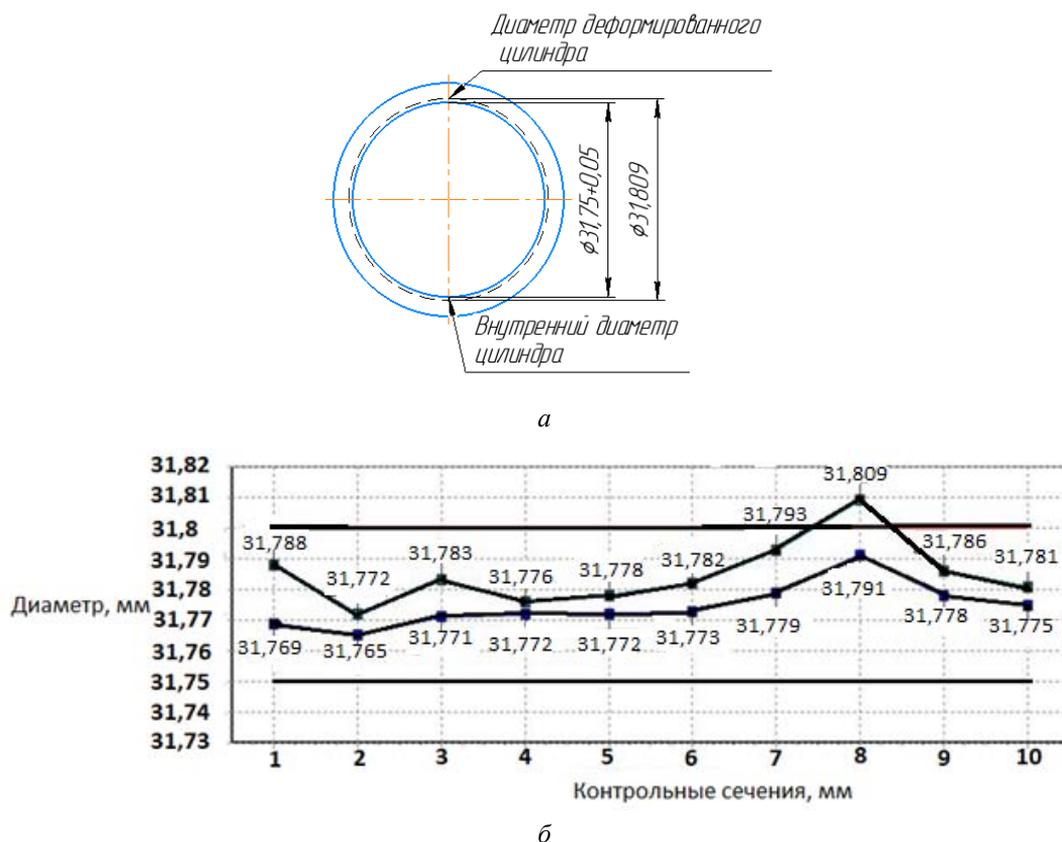


Рис. 5. Пример кольцевой деформации цилиндра (а), графическое изображение кольцевой деформации цилиндра при замере прибором «Аэротест» «Цилиндр ШГН-Р» (б)

Fig. 5. An example of the annular deformation of the cylinder (a), a graphical representation of the annular deformation of the cylinder, when measured by the Aerotest device "ShGN-R Cylinder" (б)

С целью дальнейшего изучения свойств упрочненного слоя было проведено металлографическое исследование микроструктуры и твердости в области азотированного слоя цилиндра глубинно-штангового насоса на образцах-свидетелях.

Металлография и твердость азотированного слоя

Для контроля азотированного слоя исследуемых цилиндров изготовлены образцы-свидетели в количестве 3 штук на 1 технологическую садку цилиндров. Схематичное изображение образца-свидетеля и вид микрошлифов показаны на рис. 6, а, б.

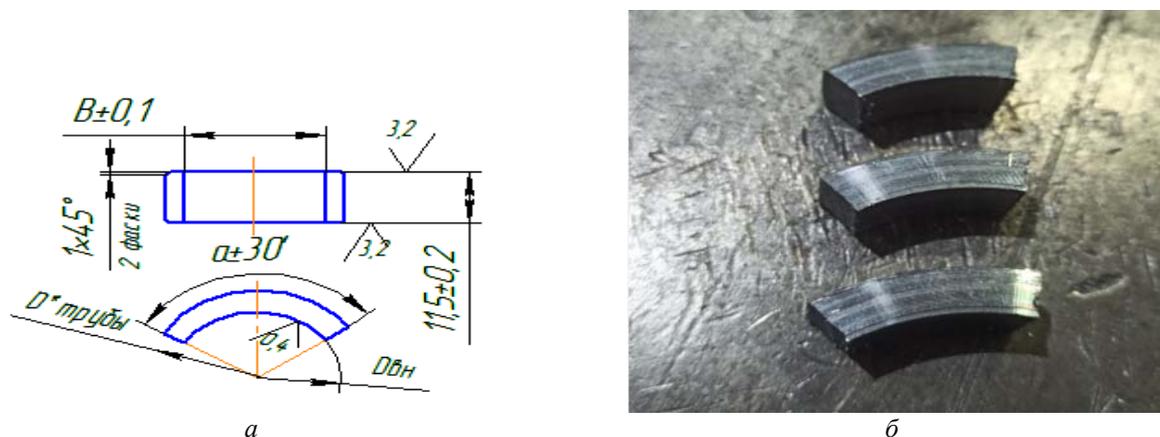


Рис. 6. Схематичное изображение образца-свидетеля (а), образцы микрошлифов (б)

Fig. 6. Schematic representation of the witness sample (a), microsection samples (б)

Проверка проведена на микрошлифах, подготовленных по ГОСТ 1763–68. Микрошлифы выполнены на торцевых поверхностях образцов-свидетелей по следующей методике: на плоскошлифовальном станке были обработаны две поверхности с выдерживанием параллельности не более 0,05 мм. Одна из торцевых поверхностей обработана на шлифовальном станке. После шлифования произведена полировка поверхности на полировальном станке до зеркального блеска.

На полученных микрошлифах проведено измерение твердости азотированного слоя на микротвердомере ПМТ-3М методом вдавливания четырехгранной алмазной пирамиды при нагрузке 500 г, на глубине 0,080 мм и 0,127 мм от края внутренней поверхности образца. Твердость по Виккерсу, согласно конструкторской документации, должна быть не менее 870 HV на глубине 0,080 мм и не менее 560 HV на глубине 0,127 мм. Результаты замера твердости на образцах представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты замера твердости на образцах цилиндров

Table 3. Results of hardness measurements on cylinder samples

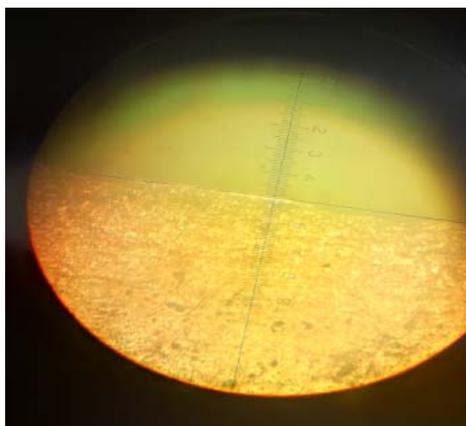
Твердость, HV	Твердость по КД на глубине 0,08 мм, не менее	Фактическая твердость на глубине 0,08 мм	Твердость по КД на глубине 0,127 мм, не менее	Фактическая твердость на глубине 0,127 мм
Образец, дефект кольцо	870	770	560	646
Образец, дефект овал	870	940	560	867
Образец, без дефекта	870	875	560	757

Исследование структуры азотированного слоя проведено с использованием микроскопа ММР-4 при увеличении $\times 100$ и $\times 1000$ [11–13]. Глубина азотированного слоя должна быть в интервале 0,35–0,5 мм. Полученные результаты металлографического исследования микроструктуры образцов показали следующие результаты:

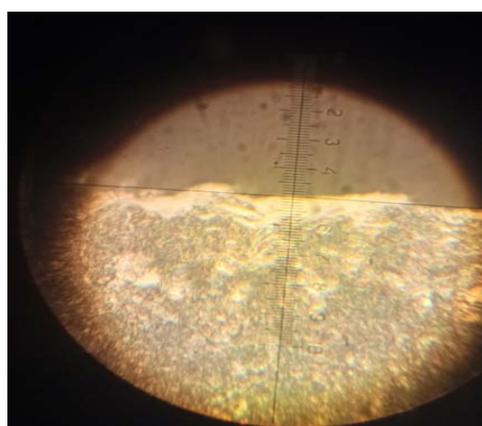
1. Штатный азотированный слой образца с кольцевым дефектом, имеет крупные вклю-

чения нитридов на поверхности глубиной до 10 мкм, зону сорбита, имеется азотированный слой с рыхлой нитридной зоной (рис. 7, а, б).

2. Штатный азотированный слой образца с овальным дефектом, имеет четкий нитридный слой до 50 мкм, зону сорбита, имеется азотированный слой с рыхлой нитридной зоной (рис. 8, а, б).



а



б

Рис. 7. Азотированный слой, включения нитридов, внутренняя поверхность $\times 100$ (а), рыхлая нитридная зона азотированного слоя $\times 1000$ (б)

Fig. 7. Nitrided layer, nitride inclusions, inner surface $\times 100$ (a), loose nitride zone of the nitrided layer $\times 1000$ (b)

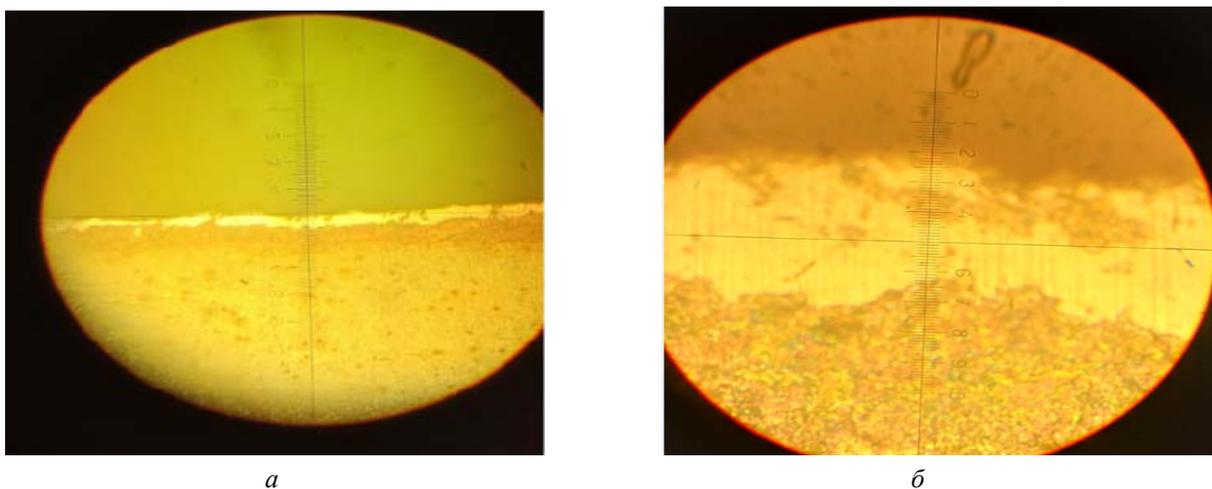


Рис. 8. Азотированный четкий нитридный слой $\times 100$ (а), рыхлая нитридная зона азотированного слоя $\times 1000$ (б)
 Fig. 8. Nitrided clear nitride layer $\times 100$ (a), loose nitride zone of the nitride layer $\times 1000$ (b)

3. Штатный азотированный слой образца без дефекта, имеет игольчатые включения нитридов в поверхностном слое до 10 мкм, зону сорбита (рис. 9).

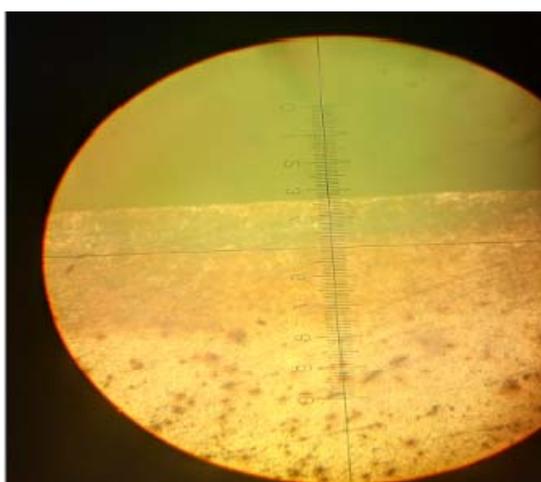


Рис. 9. Образец без дефекта, внутренняя поверхность $\times 100$

Fig. 9. Sample without defect, inner surface $\times 100$

Результаты металлографического исследования образцов цилиндров глубинно-штанговых насосов после проведения технологической операции упрочнения внутренней рабочей поверхности методом ионного азотирования показали наличие нештатных отклонений в микроструктуре образцов [14], имеющих следующие показатели:

- штатный азотированный слой образца с кольцевым дефектом, имеет крупные включения нитридов на поверхности глубиной до 10 мкм, зону сорбита, имеется азотированный слой с рыхлой нитридной зоной (рис. 7);

- штатный азотированный слой образца с овальным дефектом, имеет четкий нитридный слой до 50 мкм, зону сорбита, имеется азотированный слой с рыхлой нитридной зоной (рис. 8);
- штатный азотированный слой образца без дефекта, имеет игольчатые включения нитридов в поверхностном слое до 10 мкм, зону сорбита (рис. 12);

Микроструктура образцов с кольцевыми (рис. 7) и овальными (рис. 8) формами дефекта имеет признаки перенасыщения поверхностного слоя азотом [15, 16]. Данные дефекты влияют на отклонение геометрической формы цилиндра (рис. 4, 5) и твердость внутренней рабочей поверхности цилиндра на глубине 0,08 мм (табл. 3).

Обнаруженные дефекты, возможно, являются следствием наличия исходных микродефектов, которые образовались в результате нарушений технологии процесса изготовления исходной заготовки. Термообработка в данном случае спровоцировала раскрытие и усугубление исходных дефектов.

Данные отклонения существенным образом влияют на ресурс и работоспособность глубинного штангового насоса и не позволяют использовать цилиндры с исследованными дефектами при сборке насоса.

Рекомендации: для определения природы возникающих дефектов требуется дальнейшее исследование природы возникновения деформированного состояния цилиндров глубинно-штанговых насосов при прохождении технологической операции «ионное азотирование» и разработке методики акустического контроля качества процесса ионного азотирования цилиндров глубинных штанговых насосов.

Выводы

Проведенные исследования позволили выявить и классифицировать основные виды дефектов на внутреннем рабочем диаметре цилиндра глубинно-штангового насоса после упрочнения поверхности методом ионно-плазменного азотирования. Классифицированы дефекты нарушения геометрии:

- овальная форма деформации;
- кольцевая форма деформации.

Дефекты носят локальный характер и имеют отличия микроструктуры материала относительно зон цилиндра соответствующей требованиям конструкторской документации по геометрии, действительным размерам и механическим свойствам.

Отклонения выражены в отсутствии характерного для азотирования твердого поверхностного карбонитридного слоя, наличии крупных включений нитридов, рыхлой нитридной зоны. Данная структура позволяет сделать вывод о наличии местного локального перенасыщения поверхностного слоя металла ионами азота в процессе диффузионного процесса, повлекшего за собой локальное коробление металла и отсутствие формирования необходимого для цилиндра твердого поверхностного слоя.

Библиографические ссылки

1. Ришмюллер Г., Хамедингер Г. Добыча нефти глубинными штанговыми насосами. Терниц : Шеллер-Блекман, 1988. 148 с.
2. Добыча нефти штанговыми насосами / А. К. Мухаметзянов, И. Н. Чернышов, А. И. Липерт, С. Б. Ишемгузин. М. : Недра, 1993. 350 с. ISBN 5-247-02488-5.
3. Будилов В. В., Азамов Р. Д., Рамазанов К. Н. Технология ионного азотирования в тлеющем разряде с полым катодом // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2007. № 7.
4. Куксенова Л. И., Мичугина М. С. Влияние условий нагрева при азотировании на структуру и износостойкость поверхностных слоев стали 38Х2МЮА // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2008. № 2. С. 29–34.
5. Загibalова Е. А., Москвина В. А., Майер Г. Г. Влияние метода и температуры ионно-плазменной обработки на физико-механические свойства поверхностных слоев в аустенитной нержавеющей стали // *Frontier Materials & Technologies*. 2021. № 4. С. 17–26. DOI 10.18323/2782-4039-2021-4-17-26.
6. Деметьев В. Б., Иванова Т. Н., Ломаева Т. В. Исследование процесса азотирования легированных сталей // *Химическая физика и мезоскопия*. 2020. Т 22, № 3. С. 299–306. DOI 10.15350/17270529.2020.3.29.
7. Прохоров А. П., Баранова А. А. Перспективы развития процессов химико-термического упрочне-

ния легированных сталей (обзорная информация) // *Тенденции развития науки и образования*. 2021. № 70-2. С. 78–85. DOI 10.18411/lj-02-2021-59.

8. Брандон Д., Каплан У. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. М. : Техносфера, 2004. 384 с.

9. Каплун В. Г. Особенности формирования диффузионного слоя при ионном азотировании в безводородных средах // *ФИП*. 2003. Т. 1, № 2.

10. Измерительные преобразователи давления / Ю. Г. Свинолупов, Т. И. Изаак, Л. М. Ромась, В. В. Бычков // *Достижения науки – производству : сборник статей*. Томск : ТУСУР, 2003. С. 155–171.

11. Рамазанов К. Н. Исследование влияния азотирования и высокотемпературного азотирования в тлеющем разряде с эффектом полого катода на фазовые превращения в конструкционных и инструментальных сталях // *Вестник УГАТУ*. 2008. Т. 10, № 1 (26).

12. Ионное азотирование высоколегированных конструкционных сталей с ультрамелкозернистой структурой при различных температурах / Р. С. Есипов, Р. А. Абдуллин, Ю. Г. Хусаинов, А. А. Николаев // *Поверхность, рентгеновские, синхронные и нейтронные исследования*. 2021. № 10. С. 102–107.

13. Влияние условий азотирования конструкционных сталей на их эксплуатационные свойства и структурный метод оценки качества поверхностного слоя / Л. И. Куксенова, Алексеева М. С., И. А. Хренникова, М. А. Гресс // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2019. № 4-1 (336). С. 163–171.

14. Структура и свойства поверхностного слоя высокохромистой аустенитной стали, подвергнутой ионно-плазменному азотированию / Ю. Ф. Иванов, Е. А. Петрикова, С. В. Лыков [и др.] // *Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов*. 2020. № 12. С. 805–815. DOI 10.26456/pcascnn/2020.12.805.

15. Гуляев А. П., Коновальцев В. И., Никитин В. В. Особенности формирования свойств диффузионного слоя в процессе азотирования // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1983. № 10. С. 27–30.

16. Лахтин Ю. М., Крымский Ю. Н. Физические процессы при ионном азотировании // *Защитные покрытия на металлах*. 1968. Вып. 2. С. 225–229.

References

1. Rishmyuller G., Khamedinger G. *Dobycha nefi glubinnymi shtangovymi nasosami* [Oil production by deep rod pumps]. Ternitz: Sheller-Blekman, 1988. 148 p. (in Russ.).
2. Mukhametzyanov A.K., Chernyshov I.N., Lipert A.I., Ishemguzhin S.B. *Dobycha nefi shtangovymi nasosami* [Oil production with rod pumps]. Moscow: Nedra Publ., 1993. 350 p. ISBN 5-247-02488-5 (in Russ.).

3. Budilov V.V., Agzamov R.D., Ramazanov K.N. [Technology of ion nitriding in a glow discharge with a hollow cathode]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*. 2007. No. 7 (in Russ.).
4. Kuksenova L.I., Michugina M.S. [Influence of heating conditions during nitriding on the structure and wear resistance of surface layers of steel 38Kh2MYuA]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*. 2008. No. 2. Pp. 29-34 (in Russ.).
5. Zagibalova E.A., Moskvina V.A., Maier G.G. [Influence of the method and temperature of ion-plasma treatment on the physical and mechanical properties of surface layers in austenitic stainless steel]. *Frontier Materials & Technologies*. 2021. No. 4. C. 17–26. DOI 10.18323/2782-4039-2021-4-17-26 (in Russ.).
6. Dement'ev V.B., Ivanova T.N., Lomaeva T.V. [Study of the nitriding process of alloyed steels]. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya*. 2020. Vol. 22, no. 3. Pp. 299-306. DOI 10.15350/17270529.2020.3.29.
7. Prokhorov A.P., Baranova A.A. [Prospects for the development of processes of chemical-thermal hardening of alloyed steels (overview)]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2021. No. 70-2. Pp. 78-85. DOI 10.18411/lj-02-2021-59 (in Russ.).
8. Brandon D., Kaplan U. *Mikrostruktura materialov. Metody issledovaniya i kontrolya* [Microstructure of materials. Methods of research and control]. Moscow: Tekhnosfera Publ., 2004. 384 p. (in Russ.).
9. Kaplun V.G. [Features of the formation of a diffusion layer during ion nitriding in hydrogen-free media]. *FIP*. 2003. Vol. 1, no. 2 (in Russ.).
10. Svinolupov Yu.G., Izaak T.I., Romas' L.M., Bychkov V.V. *Izmeritel'nye preobrazovateli davleniya* [Pressure transmitters]. *Dostizheniya nauki – proizvodstvu* [Proc. Achievements of science - production]. Tomsk : TUSUR, 2003. Pp. 155-171 (in Russ.).
11. Ramazanov K.N. [Study of the effect of nitriding and high-temperature nitriding in a glow discharge with the effect of a hollow cathode on phase transformations in structural and tool steels]. *Vestnik UGATU*. 2008. Vol. 10, no. 1 (in Russ.).
12. Esipov R.S., Abdullin R.A., Khusainov Yu.G., Nikolaev A.A. [Ion nitriding of high-alloy structural steels with ultrafine-grained structure at various temperatures]. *Poverkhnost', rentgenovskie, sinkhronnye i neitronnye issledovaniya*. 2021. No. 10. Pp. 102-107 (in Russ.).
13. Kuksenova L.I., Alekseeva M.S., Khrennikova I.A., Gress M.A. [Influence of Nitriding Conditions of Structural Steels on Their Performance Properties and a Structural Method for Assessing the Quality of the Surface Layer]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2019. No. 4-1. Pp. 163-171 (in Russ.).
14. Ivanov Yu.F., Petrikova E.A., Lykov S. V. i dr. [Structure and properties of the surface layer of high-chromium austenitic steel subjected to ion-plasma nitriding]. *Fiziko-khimicheskie aspekty izucheniya klasterov, nanostruktur i nanomaterialov*. 2020. No. 12. Pp. 805-815. DOI 10.26456/pcascnn/2020.12.805 (in Russ.).
15. Gulyaev A.P., Konoval'tsev V.I., Nikitin V.V. [Features of the formation of properties of the diffusion layer in the process of nitriding]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*. 1983. No. 10. Pp. 27-30 (in Russ.).
16. Lakhtin Yu.M., Krymskii Yu.N. [Physical processes during ion nitriding]. *Zashchitnye pokrytiya na metallakh*. 1968. Vol. 2. Pp. 225-229 (in Russ.).

Flaw Detection in the Deep-Rod Pump Cylinder after Ion Nitriding

A. S. Khomutov, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

V. V. Muraviev, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

The article is devoted to evaluation of ion nitriding influence on possible deformation of deep-rod pump cylinders made of 38X2MUA steel tube blank. This article describes the analysis of the main flaws in the samples of deep-rod pump cylinders, obtained by cylinder surface hardening by means of plasma nitriding. Several samples of deep-rod pump cylinders were selected, subjected to machining in accordance with technological process, chemical and heat treatment of the internal working diameter of cylinders by ion nitriding. Manufactured samples were subjected to instrumental control on Aerotest «Cylinder WGN-R» of actual parameters of the inner cylinder diameter to the required by design documentation. Further, sample witnesses were made from the cylinders to test nitrated layer hardness and to make metallographic analysis of the nitrated layer microstructure. The study revealed deviations in the shape and dimensions of the inner cylinder diameters, which were classified into two types: hoop and oval strains. Metallographic and hardness tests results showed deviation in surface hardness and deviation from the nitrated layer normal microstructure. The structure of the nitrated layer of the strained specimens has large surface nitride inclusions and a loose nitrated layer, regardless of the flaw type. Also, defective samples lack the required high-quality nitride area of higher hardness, to provide high corrosion and tribotechnical properties determining the life-span of the deep-rod pump cylinder. In this way, the main types of flaws arising at hardening of the internal cylinder working diameter have been identified and classified. The microstructure of the nitrated layer in the standard and defective samples is

investigated and described. The correlation between nitrated layer structure flaws and geometrical parameters of the inner cylinder diameter have been determined.

Keywords: cylinders of sucker rod pumps, ion nitriding, deformation, metallography, defects.

Получено: 28.04.23

Образец цитирования

Хомутов А. С., Муравьев В. В. Выявление дефектов цилиндра глубинно-штангового насоса после ионного азотирования // Интеллектуальные системы в производстве. 2023. Т. 21, № 2. С. 16–26. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-2-16-26.

For Citation

Xhomutov A.S., Muraviev V.V. [Flaw detection in the deep-rod pump cylinder after ion nitriding]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2023, vol. 21, no. 2, pp. 16-26 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2023-2-16-26.