

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПОДХОДЫ К ИЗГОТОВЛЕНИЮ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ

Пантелеев А.С., Шматин А.К.

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва

Ключевые слова: трубопроводная арматура, цифровизация, суперсплавы, композиты, аддитивное производство, индустрия 4.0, автоматизация.

Аннотация. В статье представлен обзор современных тенденций и новейших практик в производстве нефтегазовой трубопроводной арматуры. Представлены технические аспекты трубопроводной арматуры в нефтегазовой промышленности и анализ различных типов арматуры, используемых в трубопроводных системах. Рассмотрены современные концепции и новейшие методы производства трубопроводной арматуры, включая достижения в области материалов и технологий производства. В качестве заключения в статье представлены перспективы производства трубопроводной арматуры и потенциальное влияние новых технологий на нефтегазовую отрасль.

CURRENT TRENDS AND APPROACHES TO THE MANUFACTURE OF PIPELINE VALVES

Panteleev A.S., Shmatin A. K.

National University of Oil and Gas «Gubkin University», Moscow

Keywords: valves, digitalization, superalloys, composites, additive manufacturing, Industry 4.0, automation.

Abstract. The article provides an overview of current trends and latest practices in oil and gas pipeline valves. The article begins with a brief introduction on the importance of pipeline valves in the oil and gas industry and an overview of the different types of valves used in pipeline systems. The article then looks at current trends and the latest techniques in pipeline valve manufacturing, including advances in materials and manufacturing techniques. Finally, the paper discusses the future of pipeline valve manufacturing and the potential impact of new technologies on the industry.

Введение

Трубопроводная арматура играет важнейшую роль в безопасной и эффективной транспортировке нефти и газа. Она используется для управления потоками жидкости в трубопроводах, диаметр которых может составлять от нескольких сантиметров до нескольких метров, а протяженность – сотни и даже тысячи километров.

В последние годы наблюдается рост спроса на нефть и газ в связи с увеличением мирового потребления и развитием новых технологий добычи этих ресурсов. В результате добыча и транспортировка нефти и газа стали более сложными, требующими использования передового оборудования и технологий для обеспечения безопасной и эффективной доставки этих ресурсов.

Производство трубопроводной арматуры также претерпело значительные изменения за последние годы. Появились новые материалы и производственные процессы, а также передовые методы испытаний и контроля качества. В результате произошел сдвиг в сторону более специализированных и

индивидуальных конструкций арматуры, а также больший акцент на устойчивость и экологичность производства арматуры.

Виды трубопроводной арматуры

Трубопроводная арматура является важнейшим компонентом нефте- и газопроводов, и она бывает разных типов в зависимости от своих функций и применения.

В таблице 1 представлены наиболее распространенные типы трубопроводной арматуры, но на рынке представлены и другие типы. В целом, каждый тип клапана имеет свои уникальные характеристики и области применения, и выбор подходящего клапана для конкретного применения зависит от нескольких факторов, таких как тип транспортируемой жидкости, давление и температура жидкости, а также требуемый расход.

Табл. 1. Наиболее распространенные типы трубопроводной арматуры и их применение

Тип ТА	Применение
Задвижки	Используются для управления потоком жидкостей по трубопроводу с помощью затвора или клина, который перемещается вверх и вниз, перекрывая или разрешая поток. Служат для изоляции трубопроводов, поскольку они имеют низкий перепад давления и могут обеспечить герметичное перекрытие [1].
Запорный клапан	Имеет сферический корпус с подвижным диском или пробкой, которая перемещается вверх и вниз для управления потоком жидкости. Широко используется для контроля расхода сырой нефти
Шаровый кран	Используется в системах, где требуется быстрое перекрытие и точное управление потоком. Наиболее широко используемый тип арматуры за счет простого технического обслуживания и отличных показателей долговечности, надежности [2].
Обратный клапан	Обычно используется в газопроводах для предотвращения обратного потока природного газа в распределительную сеть
Поворотный затвор	Запирающий или регулирующий элемент имеет форму диска, поворачивающегося вокруг оси, перпендикулярной или расположенной под углом к направлению потока рабочей среды. Используется в трубопроводах большого диаметра, при малом давлении среды и пониженных требованиях к герметичности рабочего органа [1].
Плунжерный клапан	Имеет цилиндрическую или коническую пробку, которая вращается в корпусе клапана для управления потоком жидкости. Чаще всего используется в газопроводах для регулирования давления среды [3].

Производственные процессы

В последние годы процесс производства трубопроводной арматуры претерпел значительные изменения в связи с технологическим прогрессом и

необходимостью соответствовать более строгим отраслевым нормам. Наметилась тенденция к использованию в производстве клапанов современных материалов, таких как суперсплавы, композиты и керамика. Ниже представлен более подробный обзор преимуществ и недостатков этих материалов и процессов.

Суперсплавы – это высокопроизводительные сплавы, которые разработаны таким образом, чтобы выдерживать высокие температуры, коррозию и износ. Более подробно преимущества и недостатки представлены в таблице 2. Они широко используются при производстве клапанов для нефтегазовой отрасли благодаря своей высокой прочности, пластичности и устойчивости к окислению и сульфидированию [4]. Примерами суперсплавов, используемых в производстве клапанов, выступают инконель, хастеллой и монель. Например, компания ExxonMobil использует трубопроводную арматуру на основе суперсплавов во многих своих проектах, в том числе в Мексиканском заливе и у побережья Норвегии [5].

Табл. 2. Преимущества и недостатки суперсплавов

Преимущества	Недостатки
<p>Высокая термостойкость Суперсплавы могут выдерживать температуру до 1200°C, что делает их пригодными для высокотемпературных применений, таких как нагнетание пара.</p>	<p>Стоимость Суперсплавы являются дорогостоящими по сравнению с традиционными материалами клапанов, такими как углеродистая сталь.</p>
<p>Устойчивость к коррозии Сверхпрочные сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью и могут выдерживать воздействие таких агрессивных сред, как морская вода, серная кислота и сероводород.</p>	<p>Обработка Суперсплавы трудно обрабатывать из-за их высокой температуры плавления и твердости, что может увеличить стоимость производства.</p>
<p>Износостойкость Суперсплавы обладают высокой износостойкостью и могут выдерживать абразивные и эрозионные среды.</p>	

Композиты – это материалы, которые состоят из двух или более составных компонентов со значительно отличающимися физическими или химическими свойствами. Композитные материалы обладают свойством эмерджентности. В целом, композиты разрабатываются для того, чтобы иметь сочетание прочности, жесткости, вязкости и веса, которое недостижимо при использовании традиционных материалов, таких как металлы или пластмассы.

Составные материалы, используемые в композитах, могут включать волокна, твердые частицы и матрицы, пример представлен на рисунке 1. Волокна обеспечивают прочность и жесткость, а матрица удерживает волокна вместе и передает нагрузку между ними. Частицы добавляются для изменения свойств композита, например, для снижения веса или повышения износостойкости.

Композитные материалы все чаще используются при производстве трубопроводной арматуры благодаря высокому соотношению прочности и веса и коррозионной стойкости. Более подробно преимущества и недостатки представлены в таблице 3. Некоторые примеры композитных материалов, используемых в производстве клапанов, включают армированный стекловолокном пластик (FRP), армированный углеродным волокном пластик (CFRP) и керамику-матричные композиты (СМС). Одним из примеров является использование композитов из углеродного волокна в компонентах арматуры, таких как штоки и диски клапанов. Эта технология в настоящее время разрабатывается компанией Solvay, которая создала ряд композитов из углеродного волокна, специально предназначенных для использования в нефтегазовой промышленности [6].

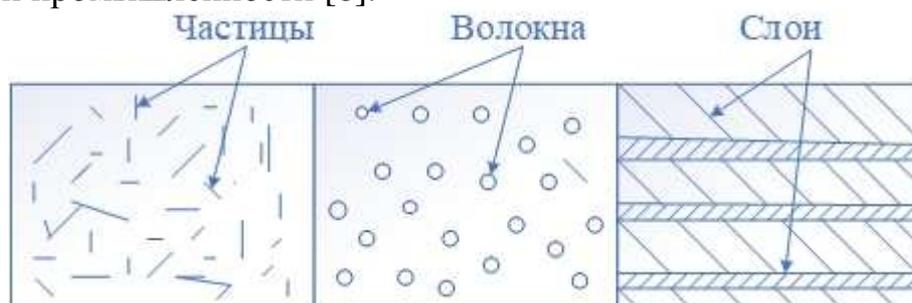


Рис. 1. Условная структура композитных материалов

Табл. 3. Преимущества и недостатки композитов

Преимущества	Недостатки
<p>Высокое соотношение прочности и веса Композиты имеют высокое соотношение прочности и веса, что делает их пригодными для применения в тех областях, где снижение веса имеет решающее значение.</p>	<p>Стоимость Композиты могут быть дорогими в производстве из-за высокой стоимости сырья и обработки.</p>
<p>Устойчивость к коррозии Композиты обладают высокой устойчивостью к коррозии и могут выдерживать жесткие условия эксплуатации.</p>	<p>Хрупкость Некоторые композиты могут быть хрупкими, что может привести к растрескиванию и разрушению в условиях высоких нагрузок.</p>
<p>Настраиваемость Композиты могут быть изготовлены в соответствии с конкретными требованиями, такими как жесткость, прочность и тепловые свойства.</p>	<p>Сложность ремонта Композитные материалы трудно поддаются ремонту, и повреждение может потребовать замены всего клапана.</p>

Аддитивное производство: Аддитивное производство, также известное как 3D-печать, подразумевает создание изделия слой за слоем с помощью принтера, управляемого компьютером. Это относительно новый процесс в производстве кранов и клапанов, но он обладает потенциалом для производства уникальных по строению и сложных изделий. К сожалению, этот процесс все еще является дорогостоящим и не подходит для крупномасштабного производства.

Аддитивное производство, также известное как 3D-печать, является перспективной технологией, которая способна произвести революцию в производстве трубопроводной арматуры. Она предполагает послойное создание трехмерного объекта с помощью программного обеспечения автоматизированного проектирования (САД) и принтера, который наносит материал по определенной схеме для создания требуемой формы.

Потенциальным препятствием на пути развития аддитивного производства трубопроводной арматуры может выступать нормативно-правовая база. В первую очередь это связано с тем, что нефтегазовая промышленность в значительной степени регулируется документами по стандартизации, которых в настоящее время попросту нет. Также отсутствуют и технические регламенты, регулирующие подобную деятельность. Вследствие чего оказывается затруднён процесс сертификации продукции, получаемой таким образом.

Одним из примеров является использование прямого лазерного спекания металлов (DMLS) для производства компонентов арматуры из суперсплавов, таких как инконель. Эта технология позволяет повысить гибкость конструкции и ускорить сроки производства по сравнению с традиционными методами изготовления [7]. Более подробно преимущества и недостатки представлены в таблице 4. Одной из компаний, использующих эту технологию, является производитель клапанов Flowserve, который разработал ряд компонентов клапанов, изготовленных с помощью DMLS [8].

Табл. 4. Преимущества и недостатки аддитивного производства

Преимущества	Недостатки
<p>Настраиваемость Аддитивное производство позволяет изготавливать детали со сложной геометрией, которые трудно или невозможно получить с помощью традиционных производственных процессов.</p>	<p>Стоимость Аддитивное производство может быть дорогостоящим по сравнению с традиционными производственными процессами, особенно при крупномасштабном производстве.</p>
<p>Сокращение времени изготовления Аддитивное производство позволяет сократить сроки изготовления деталей за счет отсутствия необходимости в оснастке и уменьшения времени наладки.</p>	<p>Ограниченный выбор материалов Аддитивное производство ограничено в типах материалов, которые оно может использовать, особенно для применения при высоких температурах и высоком давлении.</p>
<p>Сокращение отходов Аддитивное производство может сократить количество отходов, поскольку для изготовления деталей используется меньше материала, чем при традиционных производственных процессах.</p>	<p>Обработка поверхности При аддитивном производстве могут получаться детали с шероховатой поверхностью, что может повлиять на эксплуатационные характеристики и потребовать дополнительных процессов отделки.</p>

В целом, эти примеры демонстрируют универсальность и потенциал суперсплавов, композитов и аддитивного производства при изготовлении трубопроводной арматуры. Однако важно отметить, что каждая технология имеет свои преимущества и недостатки, и их пригодность для конкретного применения зависит от различных факторов, таких как конкретные условия эксплуатации и требования к рабочим характеристикам арматуры. Для производства наилучшей арматуры для конкретных условий эксплуатации можно также использовать комбинацию различных производственных процессов.

Одним из возможных сочетаний производственных процессов для трубопроводной арматуры в России является использование суперсплавов для корпуса клапана и аддитивного производства для внутренних компонентов. Суперсплавы, такие как инконель и хастеллой, обладают превосходной устойчивостью к высоким и низким температурам и агрессивным средам, что делает их идеальными для использования в арматуре, которая будет подвергаться экстремальным условиям эксплуатации. А аддитивное производство позволяет изготавливать внутренние компоненты любой необходимой формы с соблюдением микроструктуры материала и при этом экономить на объеме дорогостоящего сырья за счёт использования только необходимого для производства количества. Такое сочетание может привести к улучшению эксплуатационных характеристик, снижению веса получаемого клапана, а также сокращению финансовых затрат на производство.

Другой возможной комбинацией производственных процессов является использование композитов для корпуса клапана и традиционной механической обработки для внутренних компонентов. Композитные материалы, такие как полимеры, армированные углеродным волокном (CFRP), имеют высокое соотношение прочности и веса и отличную коррозионную стойкость, что делает их пригодными для использования в корпусах клапанов. Для изготовления точных внутренних компонентов клапана, таких как шток и диск, можно использовать обычную механическую обработку, которая предполагает удаление материала из цельного блока.

Современные тенденции изготовления трубопроводной арматуры

Поскольку спрос на нефть и газ продолжает расти, производители трубопроводной арматуры испытывают все большее давление, требуя разработки инновационных продуктов, способных надежно работать при любых условиях эксплуатации. Анализ современных тенденций позволяет лучше понимать текущее состояние отрасли, а также определить проблемы и возможности.

Передовые технологии производства:

Обработка посредством станков с ЧПУ (ЧПУ):

Это производственный процесс, в котором для удаления материала с заготовки используются станки с компьютерным управлением. Этот процесс обеспечивает высокий уровень точности и повторяемости, что делает его незаменимым инструментом при производстве трубопроводной арматуры. Согласно отчету Grand View Research, ожидается, что мировой рынок станков с ЧПУ будет расти с совокупным среднегодовым темпом роста CAGR (Compound Annual Growth Rate) 7,0% с 2020 по 2027 год, что обусловлено растущим спросом на точные детали в различных отраслях промышленности [9].

Цифровое проектирование и моделирование

Инструменты цифрового проектирования и моделирования все чаще используются в нефтегазовой промышленности для оптимизации конструкций до перехода к их изготовлению. Например, моделирование вычислительной гидродинамики (CFD) может использоваться для оптимизации протекания потока жидкостей через компоненты клапанов, что приведёт к повышению эффективности клапана. Согласно отчету MarketsandMarkets, ожидается, что мировой рынок вычислительной гидродинамики будет расти с 2020 по 2025 год с темпом роста 5,9%, что обусловлено растущим спросом со стороны энергетической и нефтегазовой отрасли [10].

Аддитивное производство

Согласно отчету SmarTech Analysis, ожидается, что мировой рынок 3D-печати в нефтегазовой промышленности будет расти с 2020 по 2027 год с темпом роста 20,5%, что обусловлено растущим внедрением технологии для производства сложных деталей и сокращением сроков и затрат [11].

Робототехника и автоматизация

Роботизированные и автоматизированные системы используются для повышения эффективности и контроля качества при производстве трубопроводной арматуры. Например, роботизированные сварочные системы могут повысить качество и скорость сварочных операций, а автоматизированные системы контроля могут повысить скорость обработки информации и эффективность деятельности по принятию решений на основе данных контроля качества. Согласно отчету ResearchAndMarkets, ожидается, что мировой рынок промышленной робототехники будет расти с 2020 по 2027 год с темпом роста 9,2%, что обусловлено растущим внедрением автоматизации во всех отраслях промышленности [12].

В целом, передовые производственные технологии необходимы для дальнейшего успешного развития нефтегазовой промышленности, в частности в производстве трубопроводной арматуры. Внедряя рассмотренные технологии, производители могут повысить эффективность, качество и устойчивость производства, а также обеспечить высокую конкурентоспособность в быстро развивающейся отрасли.

Заключение

Трубопроводная арматура играет важнейшую роль в нефтегазовой промышленности. В данной статье анализируются современные тенденции и новейшие методы производства нефтегазовой трубопроводной арматуры, включая типы арматуры, области ее применения, а также преимущества и недостатки различных производственных процессов.

Тенденция к использованию суперсплавов и композитов в производстве арматуры обусловлена потребностью в материалах с высокой прочностью, коррозионной стойкостью и долговечностью. Аддитивное производство также стало перспективной технологией для производства клапанов сложной геометрии при сокращении времени, затрат и уклону в сторону большей экологичности такого производства.

Использование передовых материалов и технологий производства может повысить эксплуатационные характеристики и долговечность трубопроводной

арматуры, снижая риск простоев и затраты на техническое обслуживание. Умные клапаны и технологии Индустрии 4.0 также могут повысить общую эффективность и надежность работы арматуры, что в конечном итоге приведет к повышению качества, безопасности и прибыльности нефтегазовой отрасли.

Несмотря на современные решения и успешное применение информационных технологий необходимы дальнейшие глубокие исследования для изучения потенциала новых материалов и производственных технологий для трубопроводной арматуры, и выработка решений связанных с проблемами интеграции и коммерциализации. Вместе с тем необходимо разработать более совершенные датчики и системы мониторинга для отслеживания характеристик в реальном времени и предиктивного обслуживания. Вместе с тем, на основании всего вышеописанного рекомендуется, чтобы отрасль продолжала инвестировать в исследования и разработки для стимулирования инновационной активности и прогресса в производстве трубопроводной арматуры и отрасли в целом.

Список литературы

1. Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration. Pipeline Safety: Valve Installation and Minimum Rupture Detection Standards [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2022-04-08/pdf/2022-07133.pdf>.
2. MarketsandMarkets. (2022). Ball Valves Market by Type, Material, Size, Industry, and Region – Global Forecast to 2027 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/ball-valve-market-80882742.html>.
3. Yusof M.B., Abdullah N.H.B. Failure mode and effect analysis (FMEA) of butterfly valve in oil and gas industry // J. Eng. Sci. Technol. 2016, vol. 11, p. 9-19.
4. DeHart R. (2018). Valve Material Selection Handbook: An Easy-to-Use Reference Guide for Valve Material Selection. William Andrew.
5. Exxon Mobil Corporation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://corporate.exxonmobil.com>.
6. Carbon Fiber. Solvay Pharmaceuticals. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.solvay.com/en/chemical-categories/our-composite-materials-solutions/carbon-fiber>.
7. Zhu W., Huang X., Cheng Y., Liao S. Additive Manufacturing of Valve Components: Opportunities, Challenges, and Future Directions // Materials. 2019, vol. 12(20), p. 3357.
8. Flowserve Corporation annual report. Flowserve Corporation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ir.flowserve.com/static-files/3e660c84-1d57-42cf-9913-29ad52ffe4ac>.
9. Computer Numerical Control Machines Market Report, 2030. Grand View Research, Inc. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/computer-numerical-controls-cnc-market>.
10. Simulation software market 2022-2026. Marketsandmarkets Research Private Ltd. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/simulation-software-market-263646018.html>.
11. Additive Manufacturing Opportunities in 2018-23. SmarTech Analysis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.smartechanalysis.com/wp-content/uploads/2018/11/3dpbm-x-smartech-am-opportunities-in-oil-and-gas.pdf>.
12. Industrial Robotics Market - Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2022-2027). Research and Markets [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.researchandmarkets.com/reports/4756868/industrial-robotics-market-growth-trends>.

Сведения об авторах:

Пантелеев Александр Сергеевич – к.т.н., доцент;
Шматин Андрей Константинович – магистрант.