



УДК 669.187.526:51.001.57

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА ТИТАНОВЫХ ТРУБ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СПОСОБОМ ЭЛПЕ

Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, Г. В. Жук,  
В. А. Березос, А. Г. Ерохин

Показана перспектива развития производства титановых труб для нефтегазодобывающей промышленности в прибрежных шельфах Мирового океана. Предложен способ получения титановых труб большого диаметра, сочетающий выплавку трубной заготовки и последующую полунепрерывную раскатку в установках электронно-лучевого переплава. Такой способ позволяет существенно сократить расходы по переработке, повысить выход годного металла за счет уменьшения количества технологических операций при производстве труб.

Prospects in the progress of production of titanium pipes for oil and gas industry in the coastal shelf of the World ocean are shown. Method of manufacture of large-diameter titanium pipes is offered, combining the melting of tubular billets and subsequent semi-continuous rolling by expanding in the installations of electron beam remelting. This method allows great reduction in expenses for processing, increasing in efficient metal output by reduction in the amount of technological operations in manufacture of pipes.

*Ключевые слова:* титановая труба; электронно-лучевая плавка с промежуточной емкостью; электронно-лучевая установка; прокатка труб

Природные ресурсы, в первую очередь минерально-сырьевые, составляют основу существования человечества и определяют будущее мировой цивилизации. К настоящему времени в мире известно около 1000 морских месторождений нефти и газа. По оценкам ученых, разведанные в пределах континентальной суши мировые запасы минерального сырья ненадолго обеспечат растущую потребность человечества: нефти хватит на 40 лет, природного газа — на 65 [1].

Согласно результатам ряда исследований, общие потенциальные ресурсы нефти и газа дна Мирового океана оцениваются в 1,8...2,1 трлн т условного топлива, что намного превышает разведанные запасы углеводородного сырья на суше. При этом наиболее перспективной является мелководная часть акваторий Мирового океана — континентальный шельф, наиболее доступный для освоения углеводородных ресурсов. Нефтяные компании всего мира, озабоченные истощением разрабатываемых ими месторождений на суше, активизируют свою деятельность на морских шельфах и примыкающим к ним участкам континентального склона и его подножия. И если раньше перспективы нефтегазозности континентального шельфа рассматривались на глубинах до 200 м, то в настоящее время нефть добывают уже на глубине моря свыше 1000 м. При-

чем исследования и инженерные работы интенсивно ведутся в разных странах на глубинах более 2000 м. В мире на шельфе и прибрежных акваториях сегодня добывают 35 % нефти и около 32 % газа.

Несмотря на истощение сухопутных месторождений и существенный рост мировых цен на нефть, морское бурение по объемам работ в последние годы существенно уступает сухопутному, что объясняется ростом себестоимости нефтедобычи при переходе к освоению глубоководных, менее богатых, месторождений.

Постепенное смещение фронтов работ в тяжелые географические условия (бурение в условиях вечной мерзлоты или на шельфе), высокая степень минерализации пластовой воды; повышение агрессивности добываемых углеводородов (значительное содержание  $H_2S$  и  $CO_2$ ); наличие аэробных и анаэробных (особенно сульфидообразующих) составляющих в продуктах добычи и окружающей среде; повышенные температуры рабочих сред; пониженные температуры атмосферы до минус 40...50 °С; возможность солевых и парафинообразных отложений на поверхностях; высокое давление рабочих сред; наличие абразивных компонентов в транспортируемых продуктах, а также увеличение глубины скважин повышают требования к качеству труб, механической прочности и коррозионной стойкости металла, используемого для их изготовления.





В условиях морской волны, достигающей 12 м и более, самым уязвимым местом буровых платформ являются опорные колонны, которые в процессе эксплуатации испытывают огромные механические нагрузки и особенно подвергаются коррозионному воздействию воды и воздуха (рис. 1).

В настоящее время эксплуатируется огромное количество труб, фактический срок службы которых в 2–3 и более раз меньше нормативного. Выход из строя труб влечет за собой большие материальные затраты, связанные в первую очередь с ремонтом и установкой новых труб. Что касается труб нефтяного сортамента, то необходимо отметить, что проблема увеличения долговечности и надежности является особенно острой. Это прежде всего относится к насосно-компрессорным и нефтегазопроводным трубам, интенсивно подвергающимся коррозионно-эрозионному воздействию агрессивных сред и различных механических нагрузок.

Многолетний опыт использования насосно-компрессорных труб из черных металлов показал, что средний срок их службы составляет 3 года. Согласно данным промышленной статистики, в настоящее время количество аварий с насосно-компрессорными трубами по некоторым месторождениям СНГ достигает 80 % общего количества аварий скважинного оборудования. При этом затраты на ликвидацию неблагоприятных последствий коррозионных разрушений составляют до 30 % затрат на добычу нефти и газа [1].

Процесс освоения нефтяниками нефтедобычи на морских шельфах стал закономерным фактом. В связи с этим разработка основных принципов проектирования и строительства морских установок и выбора материалов является сегодня основополагающим фактором, а увеличение срока службы труб нефтяного сортамента — первоочередной задачей предприятий трубной промышленности. Трубы нового поколения напрямую призваны снизить себестоимость добычи нефти.

До 15 % железа ежегодно уничтожается из-за коррозионного воздействия. Скорость коррозии труб из нержавеющей сталей составляет примерно 0,20...0,25 мм/год, а срок службы установки не превышает 6...8 лет при проведении профилактического ремонта 1 раз в 3...6 месяцев. В агрессивных средах этот процесс ускоряется. Затраты, связанные с защитой металла, непомерно велики. Это и дополнительные покрытия, и утолщение стенок аппаратуры, что способствует удорожанию процессов и оборудования.

Использование традиционных металлов порождает постоянные проблемы: убытки от коррозии, простои оборудования в связи с ремонтом, снижение производительности в результате засорения аппаратуры.

Титан в различных отраслях применения продемонстрировал уникальное сопротивление почти всем видам коррозии, с которыми приходилось сталкиваться при разработке морских нефтяных месторождений [2]. Отличием титановых сплавов

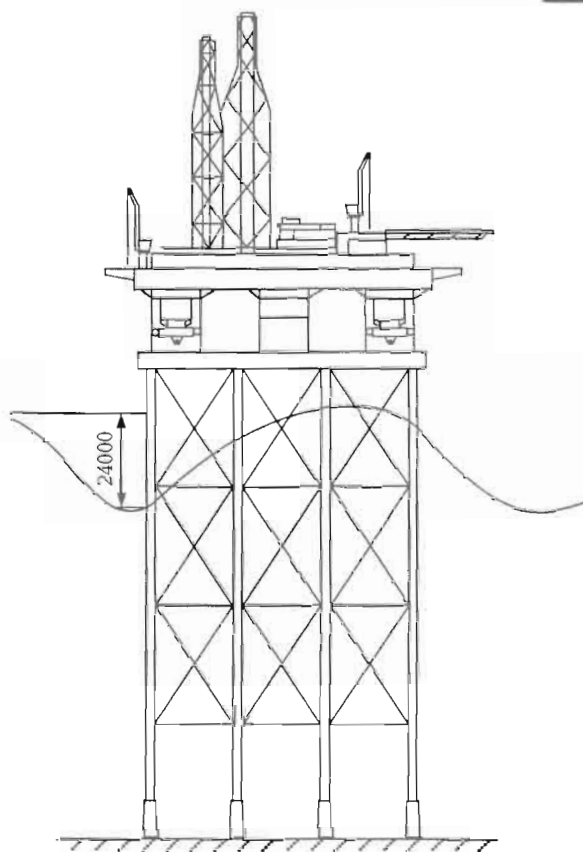


Рис. 1. Опорные колонны буровой платформы

от традиционно применяемых конструкционных является высокая коррозионная стойкость против микробиологической коррозии, т. е. против сульфидных бактерий, особенно активным в нефтепродуктах с высоким содержанием серы. При наличии в рабочей среде раствора соляной кислоты, насыщенного сероводородом, титан стоек как против общей и питтинговой коррозии, так и коррозионного растрескивания, а скорость коррозии титановых труб составляет менее 0,0005 мм/год. Скорость коррозии сплава титана ВТ1-0 после различных видов переплава приведена в таблице.

По мере создания все более глубоководных систем морской нефтедобычи резко возросла необходимость применения титановых сплавов с целью экономии массы оборудования на платформе. По

Скорость коррозии ВТ1-0 после ВДП* и ЭЛПЕ**, мм/год		
Условия коррозионных испытаний	ВДП	ЭЛПЕ
10 % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 25 °С, 336 ч	0,3591	0,2814
	0,4101	0,2993
10 % HCl, 25 °С, 336 ч	0,2844	0,1800
	0,3202	0,1813
0,9 % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 50 °С, 100 ч	0,0036	0,0013
Морская вода без нагрузки, 40 °С, 1000 ч, σ = 0,90 σ <sub>т</sub>	0,0005	0,0001
	0,0006	0,0003

\* Вакуумно-дуговой переплав.

\*\* Электроно-лучевая плавка с промежуточной емкостью.



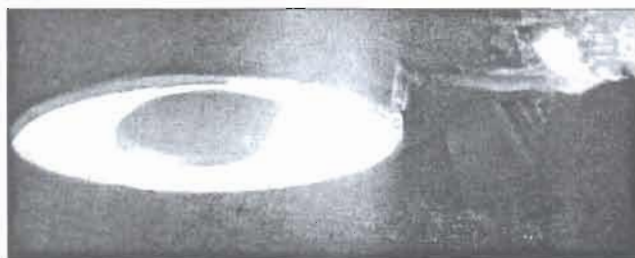


Рис. 2. Процесс получения титановой трубной заготовки способом ЭЛПЕ

данной компании «Shell Oil», снижение массы подводного оборудования на 1 т позволяет уменьшить массу опорного оборудования на 3 т, что равнозначно экономии около 150 тыс. дол. Для элементов подводного оборудования требуется использование сплавов с высокой удельной прочностью и малым модулем упругости. Согласно мнению ведущих фирм, в глубоководной нефтедобыче титан и его сплавы должны стать одним из основных конструктивных материалов.

Таким образом, перспективы применения титана для изготовления оборудования объектов нефтедобывающей промышленности достаточно широки. Титановые сплавы характеризуются необходимым комплексом свойств, позволяющих использовать их в качестве материалов для изготовления труб нефтяного сортамента, в первую очередь для бурильных труб. Применение титановых сплавов в освоении нефтегазовых месторождений на шельфе перспективно для таких систем и оборудования, как глубоководные бурильные райзеры; обсадные трубы; добыча райзеры; насосы и системы заборной, питьевой, буровой и попутной воды; трубопроводы циркуляционной системы технологических растворов; сепараторы жидкостные, теплообменное оборудование различного назначения; сосуды высокого давления; высокопрочные гибкие растяжки для фиксации платформы.

Применение титановых труб, отличающихся повышенными коррозионной стойкостью и надежностью, для комплектации эксплуатационных колонн, внутрипромыслового и магистрального транспорта нефти и газа позволяет значительно снизить технологическую аварийность и сократить затраты,

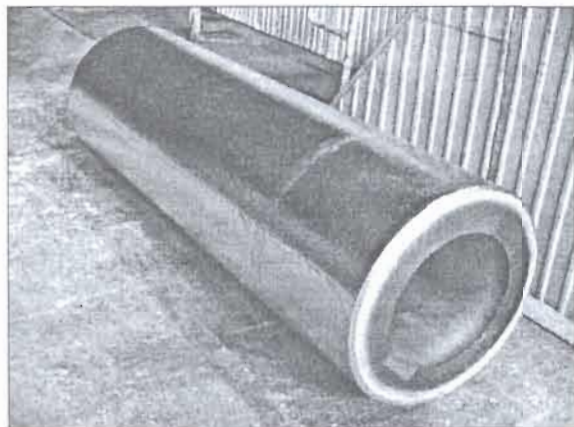


Рис. 3. Трубная заготовка диаметром 600, высотой 400 и длиной 2000 мм

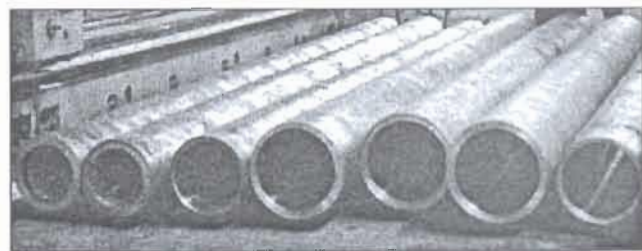


Рис. 4. Бесшовные титановые трубы большого диаметра

связанные с ликвидацией аварий и утечек транспортируемых продуктов и восстановлением окружающей среды, что, в конечном итоге, положительно отражается на себестоимости добычи и транспортирования нефти и газа.

Основным препятствием к применению титановых сплавов для бурильных труб является их высокая стоимость. Однако технология производства и обработки титановых сплавов совершенствуется и, соответственно, снижается их стоимость.

До настоящего времени проводили успешные эксперименты по применению для производства титановых труб слитков электронно-лучевой плавки (ЭЛП) [3–5]. Новым подходом в производстве труб с точки зрения экономии материала и сокращения технологических операций является выплавка титановых труб способом ЭЛПЕ.

С целью проверки возможности получения титановых трубных заготовок способом ЭЛПЕ выполнены экспериментальные плавки на электронно-лучевой установке с промежуточной емкостью УЭ-182М. В качестве формирующего устройства использовался проходной кристаллизатор с центральным дорном (рис. 2).

Освоена технология производства трубных заготовок из титана и его сплавов (рис. 3), позволяющая исключить операцию прошивки и, соответственно, снизить потери металла и затраты на производство бесшовных труб (рис. 4).

Из полых трубных заготовок на Криворожском турбинном заводе ОАО «КОНСТАР» изготовлены раскатные кольца диаметрами 1850 и 1415 мм с толщиной стенки 50 мм, высотой 350 мм (рис. 5), что подтвердило возможность изготовления труб боль-



Рис. 5. Раскатные кольца диаметрами 1850 и 1415 мм

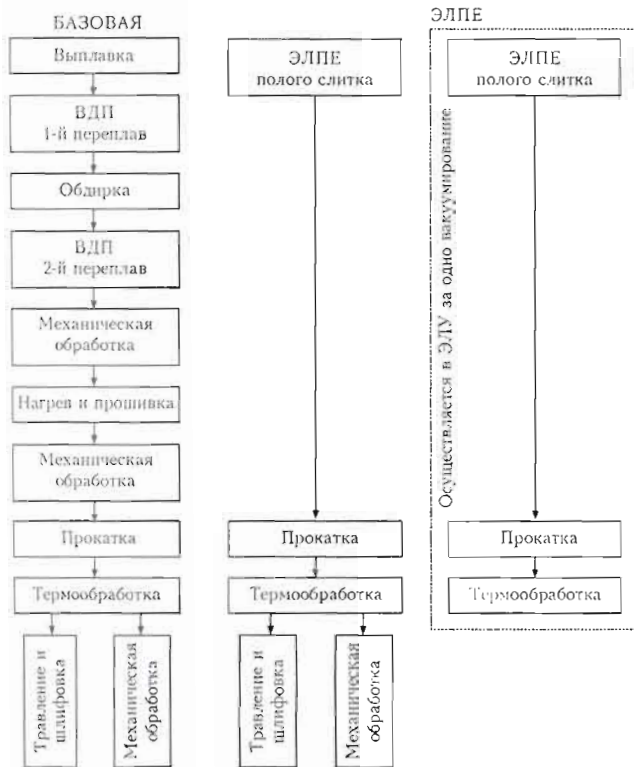


Рис. 6. Схема технологической последовательности производства труб

шого диаметра. Качество полученных колец отвечает требованиям ОСТ 1.90084-80.

В ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины разработан способ проведения процесса получения труб, сочетающий выплавку трубной заготовки и последующую полунепрерывную раскатку в установках электронно-лучевого переплава.

В новом способе процесс получения труб заключается в следующем. Плавится заготовка, наводится ванна жидкого металла в горизонтально расположенном кристаллизаторе, затвердевает металл в виде полого цилиндра, жидкий металл подают в кристаллизатор из промежуточной емкости и обогревают его электронными лучами, а полый цилиндр по мере затвердевания удаляют из кристаллизатора и подвергают прокатке с заданной степенью деформации. При этом необходимый режим деформации поддер-

живают электронным нагревом. Размеры получаемых труб следующие: диаметр до 2000 мм, длина до 24000 мм.

Процесс предназначен в первую очередь для изготовления труб большого диаметра из активных металлов и сплавов в плавильных вакуумных установках с независимыми источниками нагрева. Он позволяет существенно сократить расходы по переработке, повысить выход годного металла за счет уменьшения количества технологических операций (рис. 6) — качественный металл получают за один переплав, исключаются различные виды промежуточных механических обработок, а также такая трудоемкая операция, как прошивка слитков.

Указанный способ проведения процесса получения труб, сочетающий выплавку трубной заготовки и последующую полунепрерывную раскатку в установках электронно-лучевого переплава, защищен патентами Украины [6-8].

1. Шевченко А. А., Стрижак В. И. Производство труб для нефтяной промышленности. — М.: Металлургия, 1965. — 144 с.
2. Полуфабрикаты из титановых сплавов / Н. Ф. Аношкин, М. З. Ерманик, Г. Д. Агарков и др. — М.: Металлургия, 1979. — 512 с.
3. Получение титановых труб из заготовок электронно-лучевой плавки с использованием отходов / Т. Н. Буряк, В. С. Вахрушева, С. В. Ладохин и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 2001. — №3. — С. 24-29.
4. Получение полых титановых слитков методом ЭЛПЕ / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, Г. В. Жук и др. // Современ. электрометаллургия. — 2004. — №3. — С. 18-21.
5. Жук Г. В., Березос В. А., Северин А. Ю. Математическое моделирование тепловых процессов при ЭЛПЕ полых слитков // Там же. — 2005. — №4. — С. 20-22.
6. Пат. 78393 Украина, МПК С 22 В 9/22. Спосіб одержання порожнистих зливків в установках електронно-промислового переплавлення / М. П. Тригуб, Г. В. Жук, С. В. Ахонін, В. О. Березос. — Опубл. 15.03.2007, Бюл. №3.
7. Пат. 79021 Украина, С 22 В 9/22. Установка для одержання труб з сплавів на основі титану / Б. Є. Патон, М. П. Тригуб, Г. В. Жук, В. Д. Корнійчук. — Опубл. 10.05.2007, Бюл. №6.
8. Пат. 80570 Украина, МПК С 22 В 9/22. Спосіб одержання труб з сплавів на основі титану / М. П. Тригуб, Г. В. Жук, С. В. Ахонін, А. Ю. Северин. — Опубл. 10.10.2007, Бюл. №16.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона, НАН Украины, Киев

Поступила 17.09.2008