

- noe obespechenie i upravlenie tekhnologicheskimi protsessami trubopressovogo proizvodstva: uchebnoe posobie] Information provision and control of technological processes of production tube pressing: a tutorial. Chelyabinsk: South Ural State University Publishing House, 2013. 47 p.
4. Barichko B.V., Kosmatsky Ya.I., Ruschits S.V. Investigation of the properties of centrifugally cast steel billets 08X18H10T. *Metallurg [Metallurgist]*. 2013, vol. 4, pp. 59-62.
5. Barichko B.V., Kosmatsky Ya.I., Medvedev M.I. Comparative analysis of two methods for determining the parameters of the pressing power tubes of stainless steels and alloys. *Metallurg [Metallurgist]*. 2010, no. 4, pp. 72-74.

Фокин Н.В., Космацкий Я.И., Денисюк С.А. Исследование деформационной способности нового высоколегированного сплава и разработка технологии горячего прессования труб из него // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №4. С. 27–33.

Fokin N.V., Kosmatsky Ya.I., Denysiuk S.A. Research on deformability of a new high alloy and development of a technology enabling to extrude pipes from the alloy. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]*. 2015, no. 4, pp. 27–33.

УДК 621.77

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБ В КОРРОЗИОННОСТОЙКОМ ИСПОЛНЕНИИ*

Богатов Н.А.¹, Богатов А.А.², Салихьянов Д.Р.²

¹ НПО «Трубная Энергетическая Машиностроительная Продукция», Москва, Россия

² Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

Аннотация. В настоящее время нефтедобывающей отрасли в России необходима разработка новых инновационных проектов, направленных на радикальное повышение эксплуатационных характеристик материальных ресурсов и сокращение объемов их потребления. Одним из наиболее перспективных направлений защиты от коррозии является производство и применение труб из слоистых композиционных материалов. Существует несколько основных способов их изготовления на основе процессов обработки металлов давлением. Как показывает мировая практика, для насосно-компрессорных труб рациональным способом является технология лейнирования. Лейнирование заключается в совместной раздаче труб из разнородных материалов, имеющих разные свойства. В такой трубе удастся объединить и высокую коррозионную стойкость, и механическую прочность, благодаря чему эксплуатационный ресурс повышается по сравнению с трубами традиционного исполнения более чем в 4 раза. Однако предыдущий зарубежный опыт их изготовления и применения выявил необходимость совершенствования отдельных технологических процессов производства труб. В статье рассмотрены новые технические решения в производстве лейнированных труб и результаты их испытания в эксплуатационных условиях.

Ключевые слова: насосно-компрессорные трубы, лейнирование, лейнированные трубы, биметаллические трубы, обработка металлов давлением, восстановление эксплуатационного ресурса.

Введение

Россия является одним из мировых лидеров по добыче нефти. Следует отметить, что условия добычи нефти в России за последние десятилетия изменились: освоение новых месторождений смещается все в более неблагоприятные регионы с точки зрения горно-геологических и природно-климатических условий, в то время как нефтедобыча в обустроенных и открытых 30–50 лет назад регионах характеризуется высокой обводненностью скважин и интенсивным коррозион-

ным разрушением внутрискважинного оборудования. Из-за совместного воздействия таких факторов, как наличие растворенных газов H₂S и CO₂ в добываемом флюиде, абразивный износ и растягивающие напряжения в наиболее тяжелых условиях находятся насосно-компрессорные трубы (НКТ). Это подтверждается анализом причин выхода из строя глубинно-насосного оборудования скважин, который показывает, что доля отказов по причине выхода из строя НКТ является преобладающей среди прочих и составляет порядка 60%. Опыт эксплуатации скважин, осложненных в коррозионном отношении, показывает, что срок службы НКТ в них в отдельных случаях не превышает 4 месяцев [1–7]. Эксплуатация таких скважин крайне затруднена и сопряжена со значительными расходами финансовых ресурсов на восстановление работоспособности насосно-компрессорной колонны. Затраты на восстановление работоспособности каждой

* Статья по материалам доклада на международной молодежной научно-технической конференции «Инновационные процессы обработки металлов давлением: фундаментальные вопросы связи науки и производства», состоявшейся 15–17 июня 2015 г. в ФГБОУ ВПО «МГТУ» (г. Магнитогорск) при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ №15-38-10185).

© Богатов Н.А., Богатов А.А., Салихьянов Д.Р., 2015

скважины составляют около 350 тыс. руб., ежегодные аварийные отказы в эксплуатации насосно-компрессорных колонн в целом и в нефтяной промышленности исчисляются тысячами, а затраты на их устранение сотнями миллионов рублей. Отсюда следует, что одним из путей увеличения срока эксплуатации нефтяного оборудования и снижения стоимости обслуживания скважины является повышение коррозионной стойкости и эксплуатационного ресурса НКТ.

Краткие сведения о производстве насосно-компрессорных труб в России

Для замены исчерпавших эксплуатационный ресурс НКТ трубная промышленность России ежегодно предоставляет нефтяным компаниям около 250 тыс. т новых труб. В качестве материала труб наиболее часто используются среднеуглеродистые марганцовистые стали (30Г2, 35Г2С и т. д.) и хромомолибденовые стали (30ХМА), однако они не обладают удовлетворительной коррозионной стойкостью.

Анализ научно-технической документации на изготовление НКТ [8–9] показывает, что в отечественных стандартах не предусмотрены достаточные требования по сопротивлению коррозионному разрушению, что в определенной мере сдерживает процессы совершенствования качества трубной продукции. В зарубежной практике нефтедобычи вопросам стойкости НКТ в агрессивных средах уделяется большее внимание – в условиях осложненной добычи нефти уже нашли широкое применение НКТ из разных групп нержавеющей сталей и коррозионностойких сплавов: аустенитные нержавеющие стали; ферритные нержавеющие стали, мартенситные нержавеющие стали. Ряд отечественных и зарубежных работ посвящен рациональному выбору марки стали или сплава и составлению матрицы выбора материала трубы в зависимости от конкретных условий добычи нефти, а именно от температуры и содержания компонентов CO_2 и H_2S в скважине [1–5, 10–12].

Производство НКТ в особо коррозионностойком исполнении в России находится на уровне производства опытных и опытно-промышленных партий, а нормативно-техническая документация на ее изготовление – на уровне технических условий для конкретного предприятия. В сложившейся ситуации нефтяные компании РФ вынуждены закупать трубную продукцию из нержавеющей сталей по импорту. В 2013 году вынужденная закупка труб из нержавеющей сталей составила 9 600 т. Цена труб в особо стойком коррозионном исполнении составляет 200–250 тыс. руб. за 1 т труб (2014 г.).

Направления повышения долговечности насосно-компрессорных труб

Основными направлениями по решению проблемы увеличения срока службы глубинно-насосного оборудования [13], применяемыми нефтедобывающими компаниями являются: 1) ингибирование коррозии путем подачи химического реагента на прием насоса и в затрубное пространство; 2) проведение внутрискважинных обработок методом периодической закачки химического реагента; 3) применение протекторов коррозии для защиты от электрохимической коррозии (жертвенные аноды); 4) внедрение НКТ из высоколегированных сталей в антикоррозионном исполнении; 5) нанесение специальных антикоррозионных покрытий на внутреннюю поверхность НКТ. Эти мероприятия требуют дополнительных затрат. Еще одним направлением увеличения срока службы НКТ является применение технологии их ремонта, для чего созданы сервисные компании. Существующая технология ремонта заключается в очистке внутренней поверхности труб от отложений и вырезке дефектных участков, однако срок службы отремонтированных труб является сниженным из-за сохранения дефектов, коррозионных изъявлений, которые интенсифицируют процессы коррозии на втором этапе эксплуатации труб.

Радикально повысить уровень эксплуатационных характеристик, надежность и срок службы труб позволяет их изготовление из слоистых композиционных металлов. В зарубежной практике такие материалы нашли применение во множестве отраслей промышленности. Получение слоистых композиционных труб возможно несколькими принципиально разными путями: продольная сварка биметаллического листа, получение труб совместной раздачей, жидкостная диффузионная сварка по поверхностям разделов, сварка взрывом, центробежное литье труб и горячее изостатическое прессование [14, 15]. В нефтегазодобывающей отрасли имеется положительный опыт испытаний партий труб из слоистых композиционных материалов в береговых и морских нефтяных скважинах. Опыт изготовления и применения лейнированных труб имеют такие предприятия, как Ltd Kawasaki Heavy Industries (Япония) при тесном сотрудничестве NAM (Нидерланды), Shell Oil (США) и Ltd Kuroki Tube & Pipe Co (Япония) [16] и в России [17, 18]. Лейнирование заключается в совместной раздаче трубы из обычной углеродистой или низколегированной стали, выступающей в качестве наружной оболочки, и тонкостенной трубы из коррозионностойкой высоколегированной стали, выступающей в качестве внутренней оболочки. При этом соединение труб обеспечивается за счет сжимающих остаточных напряжений на межслойной границе труб.

Разработка технологии производства лейнированных насосно-компрессорных труб

Общая схема разрабатываемого технологического процесса технологии лейнирования насосно-компрессорных труб с достаточной полнотой изложена в работах [17–19]. В основе технологии лежит совместная раздача оболочек на оправке (рис. 1), что является новым подходом в получении лейнированных труб. Другой отличительной особенностью разрабатываемой технологии получения лейнированных труб является наличие герметика между оболочками, призванным исключить опасность возникновения коррозии на межслойной границе между металлами оболочек, а также повысить надежность их сцепления. Применение герметика позволяет решить многие проблемы, связанные с исходным качеством заготовок, кроме того, к его преимуществу можно отнести возможность использования даже изношенных насосно-компрессорных труб в качестве исходных заготовок. В этом случае герметик заполняет внутренние дефекты и язвы, образовавшиеся в изношенной трубе на первом этапе эксплуатации, и исключает опасность возобновления коррозионных процессов на внутренней поверхности наружной оболочки.

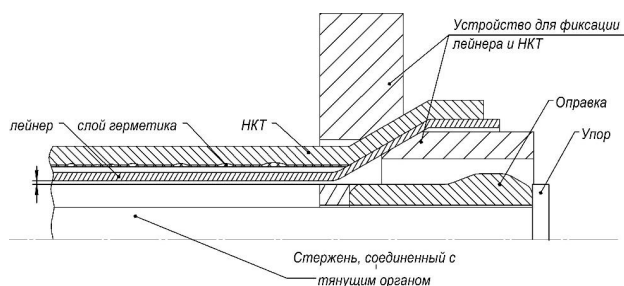


Рис. 1. Схема совместной раздачи труб на оправке

Разрабатываемая технология включает в себя следующие основные операции:

- 1) входной контроль и подготовительные операции;
- 2) калибрование внутренней поверхности НКТ способом раздачи на оправке;
- 3) подготовка концов НКТ и лейнера к раздаче;
- 4) сборка НКТ и лейнера с нанесенным на его наружную поверхность герметиком;
- 5) совместная раздача НКТ и лейнера на оправке;
- 6) полимеризация герметика лейнированной трубы.

Лейнированные насосно-компрессорные трубы, полученные по такой технологии, обладают увеличенным эксплуатационным ресурсом по сравнению с новыми бесшовными трубами благодаря следующим преимуществам:

– за коррозионную стойкость отвечает внутренняя тонкостенная вставка из высоколегированной стали, а за конструктивную прочность – наружная оболочка (насосно-компрессорная труба);

– низкое содержание вредных примесей в металле лейнера, контактирующего с агрессивной средой скважины;

– повышенная пластичность металла лейнера, по сравнению с бесшовной насосно-компрессорной трубой, что обеспечивает ремонтпригодность, надежность и долговечность лейнированных труб;

– чистота внутренней поверхности лейнера, R_a внутренней поверхности лейнера имеет значения 0,5–0,6 мкм.

– наличие герметика на межслойной границе исключает опасность возникновения электрохимической коррозии между оболочками из разных металлов и повышает надежность их сцепления;

– возможность термообработки по разным режимам для внутренней и наружной оболочки в зависимости от их назначения (обеспечение механической прочности для наружной оболочки и высокой коррозионной стойкости для внутренней).

Предлагаемая технология изготовления лейнированных коррозионностойких труб создается впервые в отечественной и зарубежной практике трубного производства, что подтверждается аналитическим обзором литературы, в которой опубликованы лишь некоторые теоретические результаты, касающиеся технологии производства лейнированных труб. По этой причине необходима разработка требований к заготовкам и проведению отдельных технологических операций изготовления лейнированных труб. Для получения лейнированных насосно-компрессорных труб высокого качества необходимо:

- обеспечение надежного сцепления лейнеров с насосно-компрессорными трубами;
- удовлетворение лейнированных труб требованиям отечественных и зарубежных стандартов по точности размеров, уровню механических свойств и коррозионной стойкости.

С целью решения поставленных задач необходимо исследование напряженно-деформированного состояния труб при совместной деформации на оправке, механики и кинематики течения слоев. Так как процесс является новым и малоизученным, решение поставленных задач выполнялось в пакете конечно-элементного моделирования Deform – 3D, который позволяет решать конструкторские и технологические задачи. Общий вид решения представлен на рис. 2.

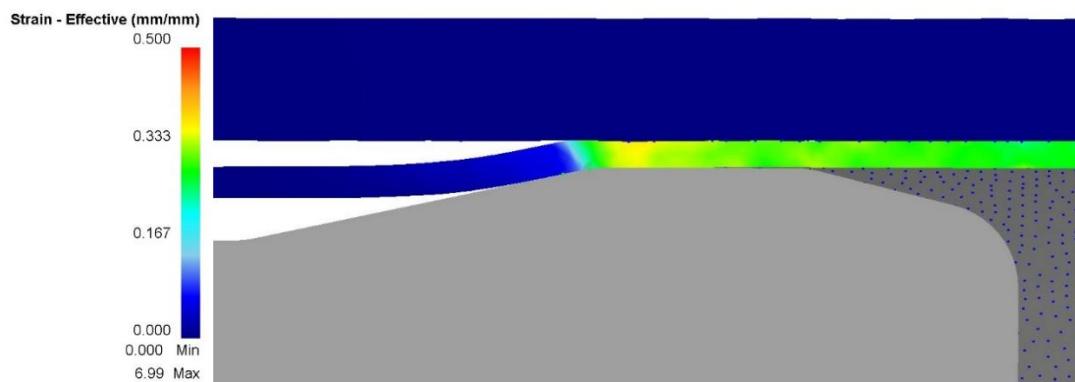


Рис. 2. Общий вид компьютерного моделирования процесса совместной раздачи труб на оправке

Отличительной особенностью процесса изготовления лейнированных труб способом раздачи на оправке является стадийность деформации составляющих компонентов. На первой стадии происходит упругая раздача лейнера, при достижении интенсивности касательных напряжений предела текучести начинается вторая стадия – пластическая деформация лейнера. Вторая стадия продолжается до тех пор, пока наружная поверхность лейнера не коснется внутренней поверхности НКТ, после чего начинается третья стадия – совместная деформация лейнера и НКТ, причем НКТ деформируется упруго. На этой стадии происходит утонение и удлинение лейнера. При достижении интенсивности касательных напряжений, возникающей в металле НКТ, предела текучести, начинается четвертая стадия – совместная пластическая деформация лейнера и НКТ. После прохождения оправки, начинается разгрузка материалов лейнера и НКТ, за счет большей величины разгрузки НКТ по сравнению с лейнером образуется натяг между оболочками. С учетом особенностей раздачи слоистых композиционных материалов на оправке была разработана конструкция и выполнен расчет размеров оправки, обеспечивающей сцепление исходных труб-заготовок.

Испытание лейнированных насосно-компрессорных труб в промышленных условиях

Опытные образцы композиционной трубы были изготовлены из шести патрубков изношенных НКТ длиной 1700–1900 мм. На трех из шести изношенных НКТ с дефектами глубиной более 1,9 мм в среднем сечении по длине дополнительно перед лейнированием наносили по четыре сквозных отверстия диаметром 3 мм. Изношенные НКТ лейнировали раздачей электросварными трубами 47×1,5 мм из стали марки 10. Межслойные зазоры и резьбовые соединения сборной трубы были загерметизированы. Па-

трубки соединяли друг с другом на резьбе муфтами. Испытание сборных биметаллических труб осуществлялось на гидравлическом прессе «Brocket» в трубопрокатном цехе №4 ОАО «ПНТЗ». Гидравлическое давление за шесть ступеней изменяли от 14,7 до 56,9 МПа с выдержкой 60 с. Сборная биметаллическая труба длиной 9500 мм выдержала испытание под давлением, которое на 13% превосходило нормативное значение по ГОСТ Р 52203-2004 для НКТ группы прочности Д, изготавливаемых по традиционной технологии. Нарушение герметичности межслойных зазоров и резьбовых соединений с полным сохранением несущей способности по всей длине биметаллической трубы, включая участки со сквозными отверстиями диаметром 3 мм, выполненными сверлением в теле НКТ, не наблюдалось.

Опытно-промышленные партии биметаллических НКТ, полученных способом лейнирования из изношенных труб 73×5,5 мм, имевших дефекты глубиной от 1,9 до 3,4 мм, прошли испытания в промысловых условиях на четырех объектах ОАО «Татнефть». Условия эксплуатации НКТ на всех объектах характеризуются как тяжелые. Тонкостенные электросварные трубы-лейнеры были изготовлены из стали 22ГЮ по ТУ 1373-021-05757850-07. Лейнированные НКТ из опытно-промышленной партии эксплуатируются с 4 марта 2009 г. (в течение более 2000 сут), замечаний к качеству и работоспособности отремонтированных труб нет. Периодический контроль качества НКТ визуальным осмотром и гидроиспытанием, осуществляемые с подъемом труб из скважин, не выявил каких-либо нарушений их качества. После инспекции трубы продолжают эксплуатироваться в штатном режиме.

Работа выполнена в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности № 11.1369.2014/К от 18.07.2014 (№ ГР 114122470051).

Список литературы

- Effect of chemical composition and structure on the resistance of oil pipelines to carbon dioxide corrosion / A.V. Ioffe, M.A. Vyboishchik, E.A. Trifonova, and P.V. Suvorov // *Metal Science and Heat Treatment*, Vol. 52, № 1–2, 2010, pp. 46–51.
- Tubing with high corrosion resistance / A.V. Ioffe, T.V. Tetyueva, M.A. Vyboishchik, E.A. Trifonova, and E.S. Lutsenko // *Metal Science and Heat Treatment*, Vol. 52, № 1–2, 2010, pp. 13–19.
- Corrosion-mechanical fracture of tubing from carbon and alloy steels operating in environments containing hydrogen sulfide / A.V. Ioffe, T.V. Tetyueva, M.A. Vyboishchik, S.A. Knyaz'kin, and A.O. Zyryanov // *Metal Science and Heat Treatment*, Vol. 54, № 9–10, 2012, pp. 492–497.
- Special features of corrosion fracture of tubing operating in environments with elevated content of carbon dioxide / S.A. Knyaz'kin, A.V. Ioffe, M.A. Vyboishchik, and A.O. Zyryanov // *Metal Science and Heat Treatment*, Vol. 54, № 9–10, 2012, pp. 498–503.
- Corrosion-mechanical fracture of tube steel in operation / A.V. Ioffe, T.V. Tetyueva, V.A. Revyakin, E.A. Borisenkova, S.A. Knyaz'kin, and T.V. Denisova // *Metal Science and Heat Treatment*, Vol. 54, № 9–10, 2012, pp. 512–518.
- Control of corrosion in oil and gas production tubing / L. Smith // *British Corrosion Journal*, 1999, vol. 34, no. 4, pp. 247–253.
- Corrosion in the Oil Industry / D. Brondeil, R. Edwards, A. Hayman, D. Hill, S. Mehta, T. Semerad // *Oilfield review*. P. 4–18.
- ГОСТ Р 52203-2004. Трубы насосно-компрессорные и муфты к ним. Технические условия.
- API Specification 5CT. Specification for Casing and Tubing. Eighth Edition, July 1, 2005. ISO 11960:2004, Petroleum and natural gas industries – Steel pipes for use as casing or tubing for wells.
- An Overview of Corrosion Resistant Alloy Steel Selection and Requirements for Oil and Gas Industry / Sergio Cerruti // AGIP Divisione Esplorazione e Produzione.
- Corrosion Resistant Alloys (CRAs) in the oil and gas industry – selection guidelines update / Bruce D. Craig, Liane Smith. 3rd Ed. September 2011. The Nickel Institute, p. 12.
- Selection guidelines for corrosion resistant alloys in the oil and gas industry / B.D. Craig // *Materials selection for the oil and gas industry*, pp. 1–11.
- Сафонов В.Н., Ким С.К. Эксплуатация осложненного коррозионной средой фонда скважин в ООО «Лукойл-Коми» // *Инженерная практика*. №1. 2012. С. 50–59.
- Engineering with clad steel / L.M. Smith // *NiDI Series № 10 064*, p. 20, 1992.
- Study on hydro-forming technology of manufacturing bimetallic CRA-lined pipe / Xuesheng Wang, Peining Li, Ruzhu Wang // *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 45 (2005), pp. 373–378.
- TFP and TFT back in town (Tight Fit CRA lined Pipe and Tubing) / A.C. de Koning, H. Nakasugi, Li Ping // *Stainless Steel World*, 2003. P. 1–12.
- Corrosion-Resistant Lined Pump and Compressor Pipe / N.A. Bogatov, A.A. Bogatov, and D.R. Salikhyanov // *Steel in Translation*, Vol. 44, № 11, 2014, pp. 867–869.
- Use of The Lining Method to restore the Service Characteristic of Pump-Compressor Tubing that has exhausted its original service life / N.A. Bogatov, A.A. Bogatov, and D.R. Salikhyanov // *Metalurgist*, Vol. 58, № 11–12, 2014, pp. 1006–1010.
- Пат. 2344266 Российская Федерация, МПК E21B17/01, B32B1/08, F16L9/18, B23K20/16, B21C37/06. Способ изготовления насосно-компрессорных труб / Богатов Н.А. № 2007114162/02, заявл. 17.04.2007; опубл. 20.09.2007.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DEVELOPMENT OF MANUFACTURING PROCESS OF CORROSION-RESISTANT PIPES

Bogatov Nikolay Aleksandrovich – D.Sc. (Econ.), First Deputy Director General, «TEMP» Scientific and Production Association, Moscow, Russia. E-mail: temp_@front.ru.

Bogatov Aleksandr Aleksandrovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia. E-mail: omd@urfu.ru.

Salikhyanov Denis Rinatovich – Postgraduate Student, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia. E-mail: salenhall@gmail.com.

Abstract. At present, it is necessary to develop new innovative projects in the Russian oil industry aimed at efficient performance improvement of material resources and their economy. Production and application of layer-composite pipes are advantageous in terms of corrosion protection. There are several production techniques based on metal forming. According to the best practice, the lining technique proves to be rational for tubing manufacturing. The technique would be a combined pipe expansion from dissimilar materials of different properties. It lends a high corrosion resistance and mechanical strength to a pipe, which makes the service life about 4 times longer as compared to monometallic pipes. But the previous foreign practice showed that some specific pipe-production processes need improvement. The article considers new technical solutions in lined pipes manufacturing and results of their performance test.

Keywords: Tubing, lining, lined pipes, bimetallic pipes, metal forming, restoring of service characteristics.

References

- Ioffe A.V., Vyboishchik M.A., Trifonova E.A., and Suvorov P.V. Effect of chemical composition and structure on the resistance of oil pipelines to carbon dioxide corrosion. *Metal Science and Heat Treatment*, vol. 52, no. 1–2, 2010, pp. 46–51.
- Ioffe A.V., Tetyueva T.V., Vyboishchik M.A., Trifonova E.A., and Lutsenko E.S. Tubing with high corrosion resistance. *Metal Science and Heat Treatment*, vol. 52, no. 1–2, 2010, pp. 13–19.
- Ioffe A.V., Tetyueva T.V., Vyboishchik M.A., Knyaz'kin S.A., and Zyryanov A.O. Corrosion-mechanical fracture of tubing from carbon and alloy steels operating in environments containing hydrogen sulfide. *Metal Science and Heat Treatment*, vol. 54, no. 9–10, 2012, pp. 492–497.
- Knyaz'kin S.A., Ioffe A.V., Vyboishchik M.A., and Zyryanov A.O. Special features of corrosion fracture of tubing operating in environments with elevated content of carbon dioxide. *Metal Science and Heat Treatment*, vol. 54, no. 9–10, 2012, pp. 498–503.
- Ioffe A.V., Tetyueva T.V., Revyakin V.A., Borisenkova E.A., Knyaz'kin S.A., and Denisova T.V. Corrosion-mechanical fracture of tube steel in operation. *Metal Science and Heat Treatment*, vol. 54, no. 9–10, 2012, pp. 512–518.
- Smith L. Control of corrosion in oil and gas production tubing. *British Corrosion Journal* 1999, vol. 34 no. 4, pp. 247–253.

7. Brondel D., Edwards R., Hayman A., Hill D., Mehta S., Semerad T. Corrosion in the Oil Industry. *Oilfield review*, pp. 4–18.
8. State Standard R 52203-2004. Pump-Compressor Tubes and Couplings for Them. Specifications. Moscow, 2015 (In Russian).
9. API Specification 5CT. Specification for Casing and Tubing. Eight Edition, July 1, 2005. ISO 11960:2004, Petroleum and natural gas industries – Steel pipes for use as casing or tubing for wells.
10. Sergio Cerruti. An Overview of Corrosion Resistant Alloy Steel Selection and Requirements for Oil and Gas Industry. AGIP Divisione Esplorazione e Produzione
11. Bruce D. Craig, Liane Smith Corrosion Resistant Alloys (CRAs) in the oil and gas industry – selection guidelines update. 3rd Ed. September 2011. The Nickel Institute. p. 12.
12. Craig B.D. Selection guidelines for corrosion resistant alloys in the oil and gas industry. *Materials selection for the oil and gas industry*, pp. 1–11.
13. Safonov V.N. and Kim S.K. Performance of the wells of the OOO Lukoil-Komi under corrosive conditions. *Inzh. Praktika*, no. 1, pp. 50–59, 2012.
14. Smith L.M. Engineering with clad steel. *NiDI Series*, no. 10 064, p. 20, 1992.
15. Xuesheng Wang, Peining Li, Ruzhu Wang. Study on hydro-forming technology of manufacturing bimetallic CRA-lined pipe. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 45 (2005), pp. 373–378.
16. A.C. de Koning, H. Nakasugi, Li Ping. TFP and TFT back in town (Tight Fit CRA lined Pipe and Tubing). *Stainless Steel World*, 2003, pp. 1–12.
17. Bogatov N.A., Bogatov A.A., and Salikhyanov D.R. Corrosion-Resistant Lined Pump and Compressor Pipe. *Steel in Translation*, vol. 44, no. 11, 2014, pp. 867–869.
18. Bogatov N.A., Bogatov A.A., and Salikhyanov D.R. Use of The Lining Method to restore the Service Characteristic of Pump-Compressor Tubing that has exhausted its original service life. *Metallurgist*, vol. 58, no. 11–12, 2014, pp. 1006–1010.
19. Bogatov N.A. *Sposob izgotovleniya nasosno-kompressornykh trub* [Method of making pump-compressor tubing]. Patent RF, no. 2344266, 2007.

Богатов Н.А., Богатов А.А., Салихьянов Д.Р. Развитие технологии изготовления труб в коррозионностойком исполнении // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №4. С. 33–38.

Bogatov N.A., Bogatov A.A., Salikhyanov D.R. Development of manufacturing process of corrosion-resistant pipes. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2015, no. 4, pp. 33–38.

УДК 65.011.56: 621.771: 621.778: 669.21/23.018

СОЗДАНИЕ НОВЫХ СПЛАВОВ ЮВЕЛИРНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ИЗ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ИХ ОБРАБОТКИ*

Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Дитковская Ю.Д., Лопатина Е.С., Лебедева О.С., Рудницкий Э.А.

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

Аннотация. В статье приведен анализ технологии изготовления длинномерных деформированных полуфабрикатов для производства ювелирных цепей из сплавов драгоценных металлов. С применением программного обеспечения, базирующегося на авторских методиках расчета деформационных и энергосиловых параметров холодной сортовой прокатки и волочения, спроектированы новые технологические режимы обработки для новых сплавов на основе золота, серебра и палладия, прошедшие опытно-промышленную апробацию и позволившие повысить технико-экономические показатели производства ювелирных изделий.

Ключевые слова: сплавы на основе золота, серебра и палладия, технологические процессы, ювелирные цепи, проволока, сортовая прокатка, волочение.

Введение

В настоящее время актуально создание новых сплавов ювелирного назначения на основе уменьшающих вредное воздействие на здоровье человека драгоценных металлов и аллергенов, обладаю-

щих повышенными прочностными и эксплуатационными характеристиками и обеспечивающих эффективное производство качественной продукции.

Существующая практика применения единой технологической схемы для сплавов на основе золота, серебра и палладия без учета свойств обрабатываемого материала приводит к нерациональной энергосиловой загрузке оборудования, низкому качеству готовой продукции и высокому проценту брака. Внедрение в производство этих сплавов, обладающих повышенными механическими характеристиками, требует разработки новых технологических режимов изготовления длинномерной продукции для ювелирных цепей. Таким образом,

* Статья по материалам доклада на международной молодежной научно-технической конференции «Инновационные процессы обработки металлов давлением: фундаментальные вопросы связи науки и производства», состоявшейся 15–17 июня 2015 г. в ФГБОУ ВПО «МГТУ» (г. Магнитогорск) при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ №15-38-10185).

© Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Дитковская Ю.Д., Лопатина Е.С., Лебедева О.С., Рудницкий Э.А., 2015