

УДК 621.77

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ТРУБ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СЛОИСТОЙ КОМПОЗИЦИОННОЙ ТРУБЫ*

Богатов Н.А.¹, д.э.н., советник

Богатов А.А.², д.т.н., профессор, зав. кафедрой

«Обработка металлов давлением» (omd@mtf.ustu.ru)

Салихьянов Д.Р.², ассистент, младший научный сотрудник кафедры

«Обработка металлов давлением» (salenhall@gmail.com)

¹ ЗАО НПО «Трубная Энергетическая Машиностроительная Продукция»

(117218, Россия, Москва, ул. Кржижановского, д. 15, корп. 5)

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

(620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 19)

Аннотация. Мировая промышленность стремится идти по пути увеличения эксплуатационного ресурса изделий металлургического производства. Одним из наиболее перспективных направлений является производство и применение слоистых композиционных материалов. В частности, практика показывает многократное увеличение эксплуатационного ресурса за счет применения биметаллических и лейнированных труб взамен монометаллических. Лейнированные трубы представляют собой биметаллические, изготовленные способом совместной раздачи труб из разнородных материалов. В литературе, посвященной производству композиционных и биметаллических труб, производству лейнированных труб уделено недостаточно внимания. Формоизменение биметаллических труб при их изготовлении способом лейнирования имеет отличительные особенности по сравнению с прочими способами получения биметаллических и композиционных материалов, которые необходимо учитывать при разработке технологии лейнирования. Отсутствие сведений по особенностям формоизменения слоистой трубы при лейнировании осложняет разработку технологии и режимов обработки лейнированных труб. Поэтому целью настоящей работы является исследование особенностей деформации слоистых труб, формоизменения, неравномерности распределения деформации между слоями при лейнировании и ее влияние на соотношение прочностных свойств материалов.

Ключевые слова: насосно-компрессорные трубы, лейнирование, нефтедобыча, лейнированные трубы, биметаллические трубы, слоистые композиционные материалы, деформация, раздача труб на оправке.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-7-437-442

Производство и применение изделий из биметаллических и композиционных материалов показывает высокую экономическую эффективность во многих отраслях промышленности, в том числе и нефтедобыче [1 – 9]. Трубы из композиционных и биметаллических материалов способны обеспечить значительное увеличение срока их службы при незначительном повышении себестоимости производства за счет возможности использования недорогой углеродистой стали в качестве основы, а коррозионностойкой высоколегированной стали или сплава в качестве тонкого плакирующего слоя, контактирующего с агрессивной средой. Растущая потребность в таких материалах стимулирует производителей и исследователей разрабатывать новые способы производства таких материалов. В литерату-

ре известны следующие способы производства композиционных и биметаллических труб: формовка и продольная сварка биметаллического листа, гидрораздача, жидкостная диффузионная сварка, сварка взрывом, центробежное литье труб [1 – 4].

Среди известных способов получения композиционных и биметаллических труб стоит отметить способ лейнирования [1, 5 – 10]. 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. В большинстве способов получения биметаллов, соединение слоев обеспечивается за счет диффузионных процессов между ними и образования промежуточной зоны. При лейнировании соединение труб осуществляется главным образом за счет сжимающих остаточных напряжений на межслойной границе. Отсюда вытекают главные преимущества лейнированных труб по сравнению с прочими способами получения биметаллов: меньшие

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

Исследование выполнено в рамках Программы повышения конкурентоспособности. Исследование поддержано программой 211 Правительства РФ, соглашение № 02.А03.21.0006.

себестоимость производства и требуемое время для освоения производства новой продукции (lead time). В нефтедобывающей отрасли имеется положительный опыт промысловых испытаний лейнированных труб как в России, так и за рубежом [1, 5 – 7].

Однако способ лейнирования пока не получил широкого распространения из-за проблемы обеспечения герметичности межтрубного зазора, что накладывает ограничения в подборе материалов. Кроме того, в литературе, посвященной производству композиционных и биметаллических труб, производству лейнированных труб уделено недостаточно внимания. В работах, посвященных производству лейнированных труб [8 – 10], основной целью является исследование напряжений на межслойной границе и обеспечение прочности соединения слоев. Отсутствие сведений по особенностям формоизменения слоистой трубы при лейнировании осложняет разработку технологии и режимов обработки лейнированных труб. Поэтому целью настоящей работы является исследование формоизменения слоистых труб и неравномерности распределения деформации между слоями при лейнировании.

Схема процесса лейнирования

Разрабатываемая технология лейнирования направлена на повышение коррозионной стойкости насосно-компрессорных труб (НКТ), как одних из наиболее проблемных изделий металлургического производства [11]. Общая схема разрабатываемого процесса лейнирования НКТ с достаточной полнотой изложена в работах [6, 7]. В основе технологии лежит совместная раздача труб-заготовок на оправке (рис. 1). Предварительно подготовленные задние концы раздаваемых труб (лейнер и НКТ) зажимаются специальным устройст-

вом, после чего оправка, соединенная через стержень с тянущим узлом волоочильного стана-расширителя, проходит через трубы, последовательно раздавая их по всей длине.

Для успешного получения лейнированных насосно-компрессорных труб, к ним предъявляются следующие требования:

- обеспечение надежного сцепления оболочек;
- удовлетворение лейнированных труб требованиям отечественных и зарубежных стандартов по точности размеров, уровню механических свойств и коррозионной стойкости.

Решение поставленных задач требует исследования напряженно-деформированного состояния труб при совместной деформации на оправке. Исследование процесса выполнялось в пакете конечно-элементного моделирования Deform 3D, позволяющего решать конструкторские и технологические задачи. Общий вид схемы поставленной задачи совместной раздачи труб на оправке представлен на рис. 2.

Отличительной особенностью процесса совместной раздачи труб на оправке от прочих процессов обработки давлением разнородных металлов являются низкие степени деформации ϵ , редко превышающие значения 15 %, и стадийность деформации составляющих компонентов. Стадийность заключается в том, что перед совместной раздачей лейнера и НКТ на оправке происходит свободная раздача лейнера до момента соприкосновения с внутренней поверхностью НКТ. Характер деформации при свободной раздаче лейнера и при совместной раздаче лейнера и НКТ отличается. При свободной раздаче происходит утонение стенки лейнера и укорочение его длины, что согласуется с теорией обработки металлов давлением [12]. При совместной раздаче происходит удлинение и более интенсивное утонение

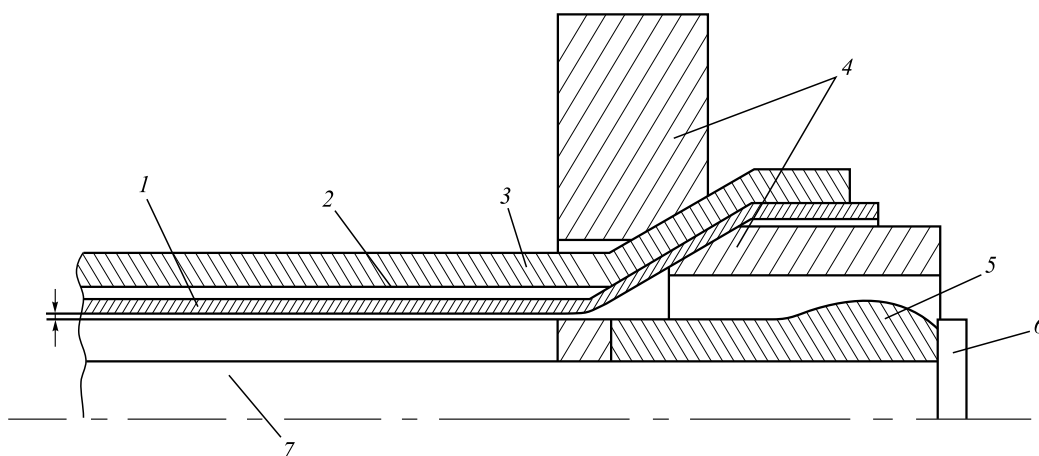


Рис. 1. Схема совместной раздачи труб на оправке:

1 – лейнер; 2 – слой герметика; 3 – НКТ; 4 – устройство для фиксации лейнера и НКТ; 5 – оправка; 6 – упор; 7 – стержень, соединенный с тянущим органом

Fig. 1. Scheme of simultaneous expansion of pipes on a mandrel:

1 – liner; 2 – layer of sealant; 3 – tubing; 4 – device for fixing the liner and tubing; 5 – mandrel; 6 – emphasis; 7 – rod connected to the body of the tractor

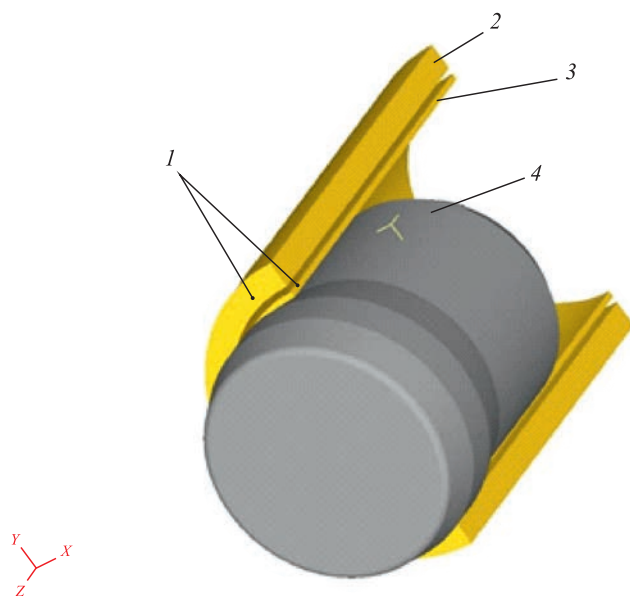


Рис. 2. Общая постановка задачи исследования совместной раздачи труб из разнородных металлов:

1 – граничное условие: ограничение по осевому перемещению концов труб ($v_z = 0$); 2 – насосно-компрессорная труба; 3 – лайнер; 4 – оправка для совместной раздачи

Fig. 2. General problem formulation of investigation of a simultaneous expansion of pipe made of dissimilar metals:

1 – boundary condition: limit on the axial movement of the pipe ends ($v_z = 0$); 2 – tubing; 3 – liner; 4 – mandrel for the joint distribution

стенки лайнера, приблизительно в 3 раза превышающее утонение при свободной раздаче, вызванное обжатием оправкой на внутренней поверхности и насосно-компрессорной трубой на наружной поверхности.

Исследование особенностей формоизменения и неравномерности распределения послойных деформаций слоистой трубы

По сравнению с формоизменением монометаллических труб при деформации, формоизменение слоистых труб значительно сложнее из-за влияния на него технологических факторов, присущих только совместной деформации разнородных металлов [13 – 15]:

- разница в уровне механических свойств составляющих слоистой трубы, выражаемая отношением сопротивления деформации более «мягкой» (металл лайнера) к более «твердой» (металл НКТ), σ_m / σ_T ;
- влияние межслойной границы;
- соотношение толщин слоев;
- величина межтрубного зазора 2δ между лайнером и НКТ;
- общая степень раздачи ε , рассчитываемая по формуле $\varepsilon = \frac{d_{\text{опр}} - d_{\text{вн}}}{d_{\text{вн}}}$, где $d_{\text{опр}}$ – диаметр калибрующей части оправки для совместной раздачи, $d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр лайнера.

В зависимости от влияния перечисленных факторов, деформация при совместной раздаче труб может распределяться по слоям в разном соотношении.

На формоизменение слоистых труб при лайнировании можно влиять за счет выбора наружного диаметра лайнера и зависящего от него межтрубного зазора 2δ , а также за счет выбора диаметра оправки $d_{\text{опр}}$ для совместной раздачи. Выбор межтрубного зазора 2δ и выбор диаметра оправки $d_{\text{опр}}$ определяют соотношение свободной раздачи лайнера $\varepsilon_{\text{своб}}$ и совместной раздачи лайнера и НКТ $\varepsilon_{\text{совм}}$ в общей степени раздачи лайнера ε . Обобщенной их характеристикой является коэффициент совместной деформации $\varepsilon_{\text{совм}} / \varepsilon$, отражающий величину предварительного наклепа лайнера перед совместной деформацией.

Для исследования влияния межтрубного зазора 2δ и диаметра оправки $d_{\text{опр}}$ на неравномерность распределения деформации была выполнена серия опытов согласно плану эксперимента (см. таблицу). Внутренний диаметр НКТ $D_{\text{вн}}$ принят равным 64 мм для всех задач, так как его высокую точность можно обеспечить за счет операции калибровки [16]. Наружный диаметр лайнера $d_{\text{нар}}$ изменялся в каждом эксперименте таким образом, чтобы обеспечить изменение межтрубного зазора на сторону δ от 1,5 до 3,5 мм. Диаметр оправки $d_{\text{опр}}$ принимался равным 61,5, 62,0 и 62,5 мм, обеспечивая совместную деформацию труб-заготовок. В таблице также приведены результаты расчета коэффициента совместной деформации $\varepsilon_{\text{совм}} / \varepsilon$ в зависимости от выбора δ и $d_{\text{опр}}$.

Для оценки неравномерности распределения деформации по слоям (между лайнером и НКТ) было исследовано среднее распределение степени деформации сдвига по толщине стенки лайнера $\Lambda_{\text{л}}^{\text{совм}}$ и НКТ $\Lambda_{\text{НКТ}}^{\text{совм}}$, причем для лайнера дополнительно было исследовано распределение к концу его свободной деформации $\Lambda_{\text{л}}^{\text{своб}}$. Изучение проводилось по шести точкам, расположенным на равном расстоянии друг от друга по всей толщине стенки трубы. Неравномерность распределения деформации по слоям оценивалась показателем неравномерности деформации $\frac{\Lambda_{\text{НКТ}}^{\text{совм}}}{\Lambda_{\text{л}}^{\text{совм}}}$ – чем ближе его значение к единице, тем более равномерное распределение деформации между НКТ и лайнером при лайнировании. Результаты исследования представлены на рис. 3.

Из графика видно, что с увеличением межтрубного зазора на сторону δ наблюдается большая неравномерность распределения послойных деформаций, что объясняется увеличением степени деформации лайнера перед совместной деформацией с НКТ. С увеличением диаметра оправки наблюдается более равномерное распределение деформации, что связано с увеличением доли совместной деформации лайнера и НКТ. На рис. 4 представлена зависимость показателя неравномерности деформации от коэффициента совместной деформации, из которого видно, что с увеличением доли совместной

деформации между НКТ и лайнером при лайнировании. Результаты исследования представлены на рис. 3.

Из графика видно, что с увеличением межтрубного зазора на сторону δ наблюдается большая неравномерность распределения послойных деформаций, что объясняется увеличением степени деформации лайнера перед совместной деформацией с НКТ. С увеличением диаметра оправки наблюдается более равномерное распределение деформации, что связано с увеличением доли совместной деформации лайнера и НКТ. На рис. 4 представлена зависимость показателя неравномерности деформации от коэффициента совместной деформации, из которого видно, что с увеличением доли совместной

План эксперимента

Plan of the experiment

Номер, п/п	$D_{\text{вн}}, \text{мм}$	$d_{\text{нар}}, \text{мм}$	$\delta, \text{мм}$	$d_{\text{опр}}, \text{мм}$	$\varepsilon, \%$	$\varepsilon_{\text{своб}}, \%$	$\varepsilon_{\text{совм}}, \%$	$\varepsilon_{\text{совм}}/\varepsilon$
1	64	61	1,5	61,5	6,03	5,34	0,69	0,11
2	64	60	2,0	61,5	7,89	7,26	0,63	0,08
3	64	59	2,5	61,5	9,82	9,29	0,54	0,05
4	64	58	3,0	61,5	11,82	11,35	0,47	0,04
5	64	57	3,5	61,5	13,89	13,52	0,37	0,03
6	64	61	1,5	62,0	6,90	5,34	1,55	0,23
7	64	60	2,0	62,0	8,77	7,26	1,51	0,17
8	64	59	2,5	62,0	10,71	9,29	1,43	0,13
9	64	58	3,0	62,0	12,73	11,35	1,38	0,11
10	64	57	3,5	62,0	14,81	13,52	1,30	0,09
11	64	61	1,5	62,5	7,76	5,34	2,41	0,31
12	64	60	2	62,5	9,65	7,26	2,39	0,25
13	64	59	2,5	62,5	11,61	9,29	2,32	0,20
14	64	58	3	62,5	13,64	11,35	2,29	0,17
15	64	57	3,5	62,5	15,74	13,52	2,22	0,14

деформации происходит более равномерное распределение деформации между лейнером и НКТ.

Из графиков видно, что значения показателя неравномерности деформации $\frac{\Lambda_{\text{НКТ}}^{\text{совм}}}{\Lambda_{\text{л}}^{\text{совм}}}$ намного меньше единицы, т. е. степень деформации сдвига лейнера к концу совместной деформации выше степени деформации сдвига НКТ. Это влечет за собой изменение соотношения прочностных характеристик, выражаемых отно-

шением $\sigma_{\text{м}}/\sigma_{\text{т}}$. Для выбранных в качестве материала НКТ стали 45, а в качестве материала лейнера стали 12Х18Н10Т, соотношение прочностных характеристик равно 0,58. К началу совместной раздачи лейнера и НКТ соотношение $\sigma_{\text{м}}/\sigma_{\text{т}}$ изменяется в пределах 0,98 – 1,16 в зависимости от межтрубного зазора и диаметра оправки. После совместной раздачи, с учетом упрочнения материалов, значения соотношения $\sigma_{\text{м}}/\sigma_{\text{т}}$ находятся в пределах 1,10 – 1,45, т. е. материал лейнера к концу совместной раздачи приобретает большее значение сопротивления деформации, чем материал НКТ, что может оказывать влияние на эксплуатационные свойства лейнированной трубы.

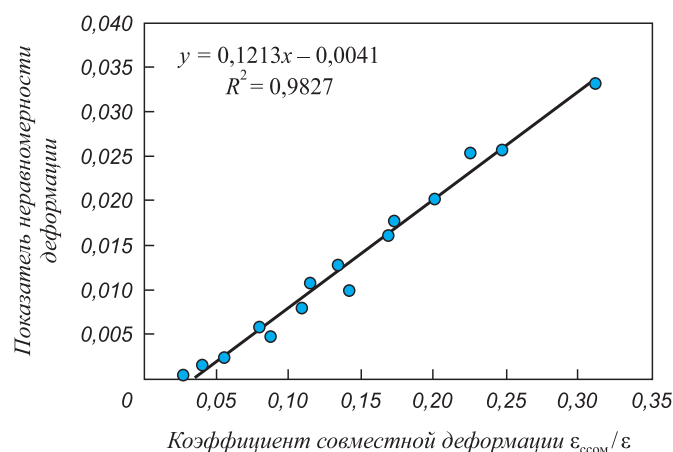
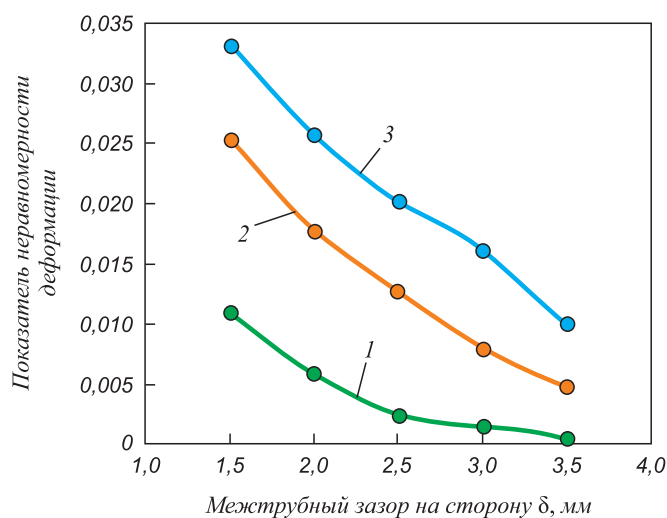


Рис. 3. Зависимость показателя неравномерности деформации от межтрубного зазора на сторону δ и диаметра оправки $d_{\text{опр}}$, мм: 1 – 61,5; 2 – 62,0; 3 – 62,5

Рис. 4. Зависимость показателя неравномерности деформации от коэффициента совместной деформации

Fig. 3. Dependence of the deformation inhomogeneity index on intertubular gap on the side δ and mandrel diameter d_{mand} , mm: 1 – 61,5; 2 – 62,0; 3 – 62,5

Fig. 4. Dependence of the deformation inhomogeneity index on simultaneous deformation coefficient

Выводы. При исследовании неравномерности распределения послойных деформаций были получены закономерности изменения показателя неравномерности деформации от технологических факторов лейнирования. Отмечена большая роль предварительного наклепа лайнера перед совместной раздачей с НКТ, что оказывает влияние на формоизменение слоистой трубы и уровень механических свойств изделия в целом. Повышению равномерности деформации способствует увеличение доли совместной деформации лайнера и НКТ, выраженное коэффициентом совместной деформации $\varepsilon_{\text{совм}}/\varepsilon$. Исследование изменения соотношения прочностных характеристик в процессе совместной раздачи показало, что в результате свободной раздачи лайнера, предшествующей совместной раздаче лайнера и НКТ, сопротивление деформации лайнера может достигать и превышать значения сопротивления деформации НКТ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Smith L. Engineering with clad steel. NiDI, Technical Series № 10064. Nickel Development Institute, Birmingham, 1996. – 19 p.
- Быков А.А. Методы производства и применение биметаллов // Сталь. 2011. № 9. С. 61 – 69.
- Кобелев А.Г., Лысак В.И., Чернышев В.Н. Производство слоистых композиционных материалов. – М.: Интермет Инжиниринг, 2002. – 496 с.
- Астров Е.И. Плакированные многослойные металлы. – М.: Металлургия, 1965. – 239 с.
- Koning A.C., Nakasugi H., Ping L. TFP and TFT back in town (Tight Fit CRA lined Pipe and Tubing) // *Stainless Steel World*. 2003. P. 1 – 12.
- Богатов Н.А., Богатов А.А., Салихьянов Д.Р. Лейнированные коррозионностойкие насосно-компрессорные трубы // *Сталь*. 2014. № 11. С. 86 – 88.
- Богатов Н.А., Богатов А.А., Салихьянов Д.Р. Восстановление служебных характеристик насосно-компрессорных труб, отработавших первоначальный эксплуатационный ресурс, способом лейнирования // *Металлург*. 2014. № 11. С. 80 – 84.
- Liu F., Zheng J., Xu P. etc. Forming mechanism of double-layered tubes by internal hydraulic expansion // *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 2004. Vol. 81. P. 625 – 633.
- Wang X., Li P., Wang R. Study on hydro-forming technology of manufacturing bimetallic CRA-lined pipe // *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 2005. Vol. 45. P. 373 – 378.
- Akisanya A.R., Khan F.U., Deans W.F., Wood P. Cold hydraulic expansion of oil well tubulars // *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 2011. Vol. 88. P. 465 – 472.
- Ивановский В.Н. Коррозия скважинного оборудования и способы защиты от нее // *Коррозия. Территория Нефтегаз*. 2011. № 1. С. 18 – 25.
- Теория обработки металлов давлением / И.Я. Тарновский, А.А. Поздеев, О.А. Ганаго и др. – М.: Металлургия, 1963. – 673 с.
- Биметаллы / Л.Н. Дмитров, Е.В. Кузнецов, А.Г. Кобелев, Ю.П. Чегодаев. – Пермь: Перм. кн. изд-во, 1991. – 414 с.
- Аркулис Г.Э. Совместная пластическая деформация разных металлов – М.: Металлургия, 1964. – 272 с.
- Голованенко С.А., Меандров Л.В. Производство биметаллов. – М.: Металлургия, 1966. – 304 с.
- Богатов А.А., Салихьянов Д.Р. Исследование точности внутреннего диаметра горячекатаных труб при раздаче // *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2015. Т. 58. № 1. С. 35 – 38.

Поступила 3 сентября 2015 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2016. VOL. 59. NO. 7, PP. 437–442.

INVESTIGATION OF SIMULTANEOUS DEFORMATION OF PIPES MADE OF DISSIMILAR METALS AT THE PRODUCTION OF LAMINATED COMPOSITE PIPE

N.A. Bogatov¹, A.A. Bogatov², D.R. Salikhyanov²

¹ CJSC RPC “Pipe Power Engineering Products” (“TEMP”), Moscow, Russia

² Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

Abstract. Global industry tends to follow the path of increasing the working life of products of metallurgical production. One of the most promising directions is production and use of laminated composite materials. In particular, the practice shows a multiple increase in the working life due to the use of bimetal and lined pipes instead of monometallic pipes. Lined pipes are bimetal pipes produced by the method of simultaneous expansion of a pipe made of dissimilar materials. In the literature devoted to the production of composite and bimetal pipe not enough attention is paid to the production of lined pipes. Forming of bimetal pipes in their manufacturing by the method of lining has distinctive features in comparison with other methods of producing bimetal and composite materials, which must be considered in the development of lining technology. Lack of information on the specifics of forming layered pipe at lining complicates the development of technology and modes of lined pipes processing. Therefore, the aim of this work was to study the deformation characteristics of layered pipe forming, non-uniform distribution of strain between the layers under lining and its impact on the ratio of the strength properties of the materials.

Keywords: oil well tubing, lining, oil production, lined pipes, bimetal pipes, laminated composite materials, deformation, pipe expansion on a mandrel.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-7-437-442

REFERENCES

- Smith L. Engineering with clad steel. *NiDI, Technical Series № 10064*. Nickel Development Institute, Birmingham, 1996, 19 p.
- Bykov A.A. Bimetal production and application. *Steel in Translation*. 2011, no. 9, pp. 778–786.
- Kobelev A.G., Lysak V.I., Chernyshev V.N. *Proizvodstvo sloistykh kompozitsionnykh materialov* [Production of laminated composite materials]. Moscow: Intermet Inzhiniring, 2002, 496 p. (In Russ.).
- Astrov E.I. *Plakirovannyye mnogoslainye metally* [Clad laminated metals]. Moscow: Metallurgiya, 1965, 239 p. (In Russ.).
- Koning A.C., Nakasugi H., Ping L. TFP and TFT back in town (Tight Fit CRA lined Pipe and Tubing). *Stainless Steel World*. 2003, pp. 1–12.
- Bogatov N.A., Bogatov A.A., Salikhyanov D.R. Corrosion-resistant lined pump and compressor pipe. *Steel in Translation*. 2014, no. 11, pp. 867–869.
- Bogatov N.A., Bogatov A.A., 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*. 2014, vol. 58, no. 11–12, pp. 1006–1010.
8. F. Liu, J. Zheng, P. Xu et al. Forming mechanism of double-layered tubes by internal hydraulic expansion. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 2004, vol. 81, pp. 625–633.
 9. Wang X., Li P., Wang R. Study on hydro-forming technology of manufacturing bimetallic CRA-lined pipe. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 2005, vol. 45, pp. 373–378.
 10. Akisanya A.R., Khan F.U., Deans W.F., Wood P. Cold hydraulic expansion of oil well tubulars. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 2011, vol. 88, pp. 465–472.
 11. Ivanovskii V.N. Corrosion of downhole equipment and methods of protection against it. *Korroziya. Territoriya Neftegaz*. 2011, no. 1, pp. 18–25. (In Russ.).
 12. Tarnovskii I.Ya., Pozdeev A.A., Ganago O.A. etc. *Teoriya obrabotki metallov davleniem* [Theory of metal forming processes]. Moscow: Metallurgiya, 1963, 673 p. (In Russ.).
 13. Dmitrov L.N., Kuznetsov E.V., Kobelev A.G., Chegodaev Yu.P. *Bimetally* [Bimetals]. Perm: Perm. kn. izd-vo, 1991, 414 p. (In Russ.).
 14. Arkulis G.E. *Sovmestnaya plasticheskaya deformatsiya raznykh metallov* [Simultaneous plastic deformation of dissimilar metals]. Moscow: Metallurgiya, 1964, 272 p. (In Russ.).
 15. Golovanenko S.A., Meandrov L.V. *Proizvodstvo bimetallov* [Bimetal production]. Moscow: Metallurgiya, 1966, 304 p. (In Russ.).
 16. Bogatov A.A., Salikhyanov D.R. Investigation of the precision of the internal channel of hot-rolled pipes during expansion. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2015, vol. 58, no. 1, pp. 35–38. (In Russ.).
- Acknowledgements.** The work was performed as part of the project of the state task in the field of scientific activity no. 11.1369.2014/K on 18.07.2014 (state registration no. 114 122 470 051). The research was carried out in the framework of the Program of competitiveness increase and was supported by the program 211 of the Russian Government, the agreement 02.A03.21.0006.
- Information about the authors:**
- N.A. Bogatov, Dr. Sci. (Economics), Adviser*
A.A. Bogatov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair “Metal Forming” (omd@mtf.ustu.ru)
D.R. Salikhyanov, Assistant, Junior Researcher of the Chair “Metal Forming” (salenhall@gmail.com)

Received September 03, 2015.