

УДК 621.774.3

Король Р. Н.
Беликов Ю. М.
Мосьпан Н. Н.

**НОВАЯ РАЦИОНАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА
ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННЫХ ОСОБОТОЛСТОСТЕННЫХ ТРУБ
МАЛЫХ ДИАМЕТРОВ С ВЫСОКИМ КАЧЕСТВОМ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Особотолстостенные (с отношением диаметра к толщине стенки 3–10) трубы малых диаметров (с наружным диаметром от 45 мм до 7 мм) применяются в газопроводах, топливо- и маслопроводах высокого давления, а также в системах управления на АЭС. Их изготавливают из коррозионностойких и углеродистых марок сталей, а также сплавов на основе никеля. После распада СССР потребность в данных трубах была незначительна, поэтому произошло практически их полное импортозамещение. В связи с запланированной достройкой двух энергоблоков Хмельницкой АЭС и масштабными реконструкциями существующих энергоблоков атомных электростанций, связанной с окончанием сроков их эксплуатации, потребности в вышеуказанных трубах резко возрастут.

Основным фактором, обуславливающим сложность получения особотолстостенных труб малых диаметров является то, что существующая технология не обеспечивает необходимое качество внутренней поверхности.

Вышеуказанная технология включает в себя прокатку труб на станах типа ХПТ и ХПТР, а также последующее безоправочное волочение. Процесс холодной периодической прокатки особотолстостенных труб сопровождается образованием складок на внутренней поверхности в зоне редуцирования [1–5], при этом, складки при обжатии по толщине стенки не раскатываются, а остаются в виде продольных дефектов [5]. Безоправочное волочение ограничено возможностью осуществления только небольших обжатий по диаметру (в пределах 5–8 %) по причине больших усилий, действующих на волочильное кольцо, приводящих к задирам по наружной поверхности, а также из-за образования складок на внутренней поверхности труб [2, 6]. При этом следует отметить, что для особотолстостенных труб с внутренним диаметром менее 10 мм, в связи со сложностью изготовления эталонных образцов с дефектами на внутренней поверхности для настройки аппаратуры ультразвукового контроля сплошности металла, основным критерием оценки качества внутренней поверхности, является ее контроль на т.н. «лодочках» - образцах труб, разрезанных в продольном направлении. Такой контроль не может гарантировать отсутствие дефектов по всей длине труб. Таким образом, существующая технология отличается значительной трудоемкостью, высоким расходным коэффициентом металла и не обеспечивает необходимое качество внутренней поверхности.

В 80-х годах сотрудниками ВНИТИ и ЮТЗ была разработана технология изготовления холоднодеформированных особотолстостенных труб, отличающаяся расточкой внутренней поверхности труб на предготовом размере перед финальной прокаткой на стане ХПТ. Однако такая технология ограничена технической возможностью расточных станков и позволяет получать трубы ограниченной длины.

Целью данного исследования является разработка новой рациональной технологии производства особотолстостенных труб малых диаметров ответственного назначения, обеспечивающей высокое качество внутренней поверхности, снижение трудоемкости изготовления и расходного коэффициента металла.

Основными факторами, обуславливающими невозможность получения качественных вышеуказанных труб по существующей технологии, являются:

1. Образование дефектов на внутренней поверхности труб при свободном редуцировании в процессе прокатки на станах ХПТ и ХПТР, а также при безопрочно волочении. Образующиеся продольные дефекты суммируются от прохода к проходу.

2. Количество и глубина дефектов на внутренней поверхности, образующихся при редуцировании, обратно пропорционально степени тонкостенности трубы – чем больше отношением диаметра к толщине стенки, тем меньше количество и глубина дефектов.

3. Нарушение стабильности процесса прокатки из-за обрывов стержней и переходников при прокатке труб с внутренним диаметром менее 10 мм.

4. Техническая невозможность получения труб диаметром менее 22 мм с отношением диаметра к толщине стенки менее 3 из-за критического утонения стенки при безопрочно волочении [7].

В процессе холодной периодической прокатки от величины дробности деформации в зоне редуцирования зависит качество внутренней поверхности труб. В результате экспериментальных исследований, проведенных в работах [1–6], установлено, что при увеличении протяженности зоны редуцирования (подача заготовки постоянна), интенсивность образования складок на внутренней поверхности труб в этой зоне уменьшилась, качество внутренней поверхности труб улучшилось. Таким образом, был сделан вывод о том, что для данного процесса прокатки увеличение дробности деформации в зоне редуцирования, за счет удлинения этой зоны, благоприятно сказывается на качестве внутренней поверхности. Использование процесса свободного редуцирования на станах холодной периодической прокатки позволяет получить при большей степени деформации по диаметру, по сравнению с безопрочно волочением, более высокое качество внутренней поверхности [6, 8].

Низкая величина «тонкостенности» – отношения диаметра к толщине стенки трубы, может быть повышена за счет разделения толщины стенки готовой трубы на два и более слоев. Исходя из практических соображений, для большинства типоразмеров труб достаточно разделения суммарной стенки на два слоя, исходя из отношения толщины внутреннего слоя к наружному 1:2:

$$t_{\Sigma} = t_O + t_H,$$

где $t_O = \frac{1}{3}t_{\Sigma}$ – толщина стенки внутреннего слоя (основы);

$t_H = \frac{2}{3}t_{\Sigma}$ – толщина стенки наружного слоя.

В результате такого деления на подготовленном размере, величина «тонкостенности» каждого слоя увеличивается в 1,5–3 раза, что позволяет снизить глубину дефектов, образовавшихся на внутренней поверхности при деформации. Деление на большее количество слоев не рационально, так как увеличивается трудоемкость изготовления готовых труб.

Проведенные во ВНИТИ исследования многослойных монометаллических осботонкостенных труб показали, что при равной суммарной толщине стенки данные трубы имеют более высокие показатели по прочности и долговечности чем однослойные.

Исходя из вышеизложенного, а также из технической возможности деформационного оборудования и его особенностей, целесообразно предложить следующие технологические схемы изготовления осботолстостенных многослойных монометаллических труб:

1. Для труб с внутренним диаметром от 10 мм и более – прокатка на станах ХПТ и ХПТР.

2. Для труб с внутренним диаметром менее 10 мм и с наружным – более 10 мм – холодное редуцирование на станах ХПТ и ХПТР.

3. Для труб с наружным диаметром менее 10 мм – безопрочно волочение.

Внутренний диаметр трубы-наружного слоя подбирается таким образом, чтобы была обеспечена возможность свободного прохождения трубы-основы в нее с зазором 1,0–1,5 мм. Для первоначального соединения слоев можно использовать их сварку на торце. К особенностям

прокатки особотолстостенных многослойных монометаллических труб на станах ХПТ и ХПТР следует отнести: использование калибров и рабочих роликов с большой развалкой для обеспечения уменьшения усилия срыва рабочего конуса с оправки при подаче заготовки и обязательное наличие участка калибрования по толщине стенки в конце обжимной зоны. При этом суммарная деформация по толщине стенки всех слоев должна находиться в пределах до 15 %, а обжатие по диаметру – 20–25 %, что достаточно для обеспечения эффекта «холодной сварки» слоев – возникновения металлографической диффузии между ними (рис. 1).

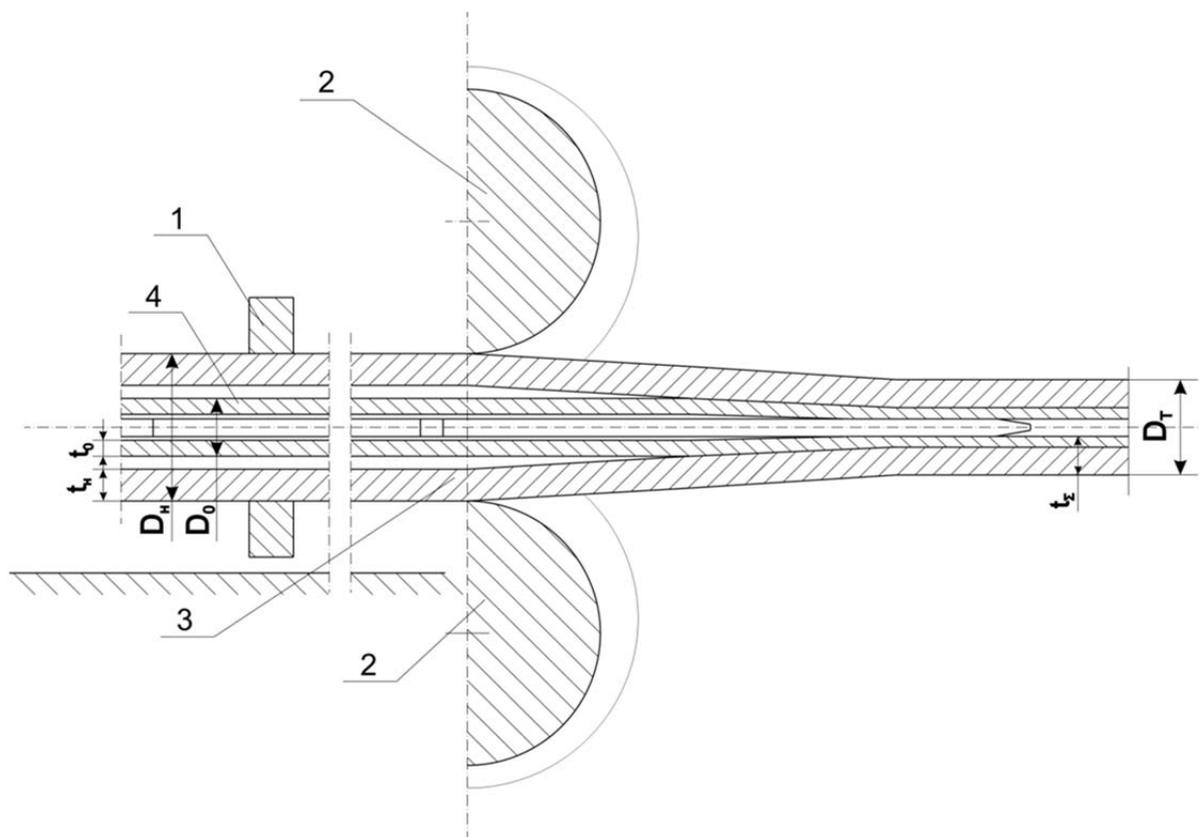


Рис. 1. Схема сочленения двухслойной монометаллической трубы холодной прокаткой на стане ХПТ:

1 – патрон подачи-поворота заготовки; 2 – валки; 3 – наружный слой; 4 – внутренний слой (основа)

Вторая и третья технологические схемы предполагают первоначальное сочленение слоев или редуцированием на станах холодной периодической прокатки (рис. 2) или безоправочным волочением (рис. 3).

С целью облегчения закатки рабочего конуса, а также исключения концевое растрескивания первоначальную сборку труб-слоев выполняют при заковке переднего конца многослойной сборки на ротационно-ковочной машине, при этом, осуществляют лишь посадку по диаметру наружного слоя. Следует также отметить, что закатку переднего конца многослойной сборки необходимо производить без подачи охлаждающей эмульсии, во избежание попадания ее между сочленяемыми слоями.

Для первоначального сочленения слоев предпочтительней использовать станы ХПТР, а не ХПТ. Это объясняется легкостью настройки и перевалки, простотой изготовления инструмента. Калибровку опорных планок и роликов при этом необходимо выполнять с учетом рекомендаций работ [6, 8], в случае прокатки на станах ХПТ – калибровка гребня ручья калибра выполняется так же, как и калибровка опорной планки в работе [6].

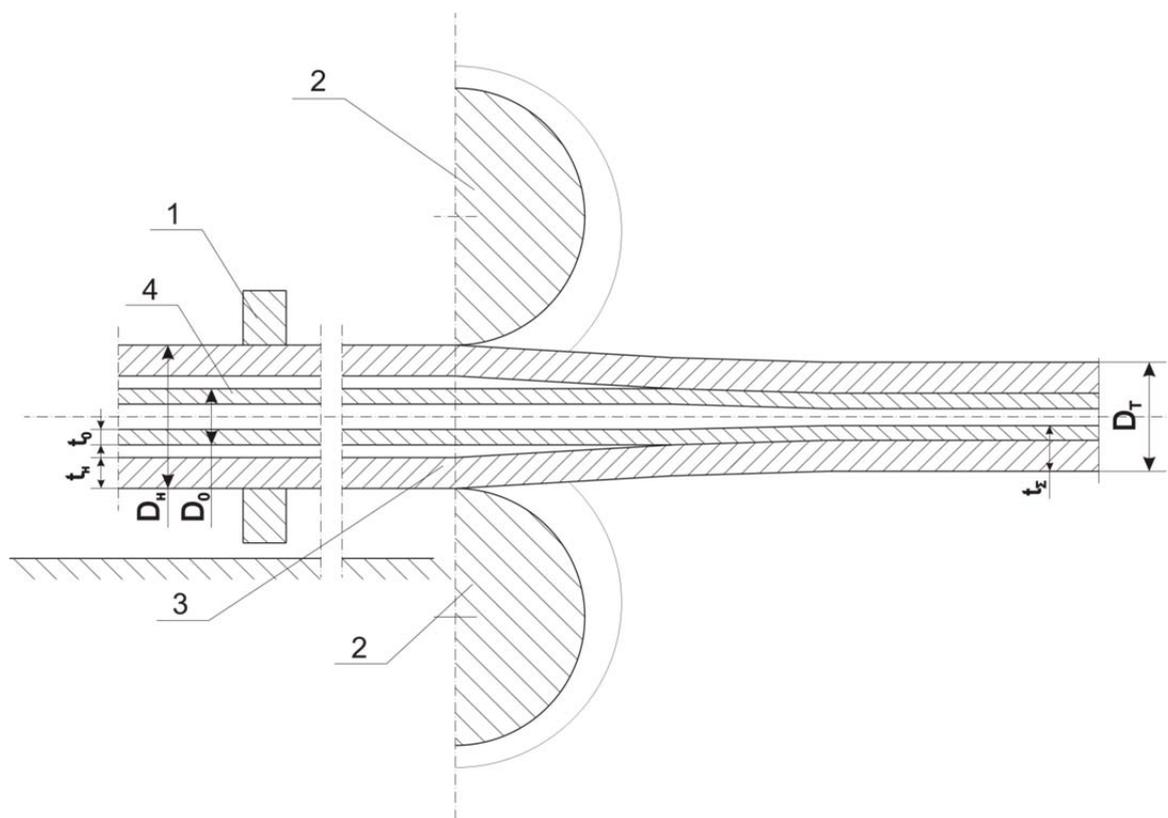


Рис. 2. Схема сочленения двухслойной монометаллической трубы свободным редуцированием на стане ХПТ:

1 – патрон подачи-поворота заготовки; 2 – валки; 3 – наружный слой; 4 – внутренний слой (основа)

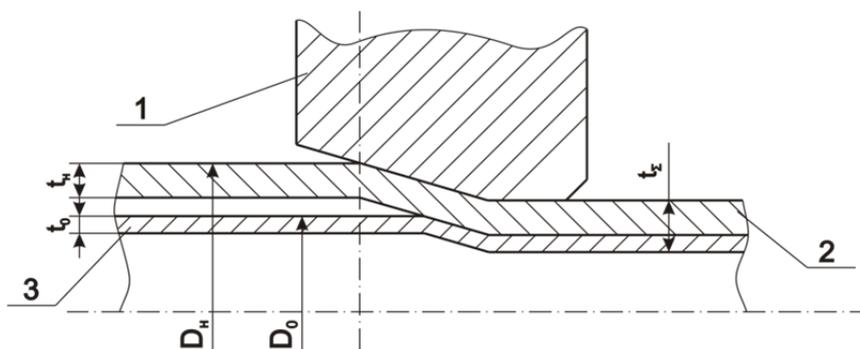


Рис. 3. Схема сочленения двухслойной монометаллической трубы безоправочным волочением:

1 – волока; 2 – наружный слой; 3 – внутренний слой (основа)

Многослойные монометаллические особотолстенные трубы обладают достаточной продольной устойчивостью, что позволяет проводить их прокатку на станах ХПТ и ХПТР без наличия оправки и стержня. С целью исключения бросков трубы под действием осевых усилий при ее прокатке на станах ХПТР с подвижной клетью, кроме настройки рычажной системы в соответствии с работами [6, 8], необходимо задний конец трубы зажимать в патроне подачи-поворота заготовки. После окончания прокатки надо развернуть трубу на 180°, а передний прокатанный конец зажать в патроне подачи-поворота заготовки и выполнить докатку ее заднего конца. При прокатке многослойных монометаллических труб на станах ХПТ с передним патроном необходимо пользоваться трубой-вставкой с наружным диаметром, равным диаметру готовой трубы, и головкой длиной 150 мм, забитой с помощью ротационно-ковочной машины, при этом диаметр головки должен обеспечивать свободное

прохождение последней во внутрь прокатываемой трубы с зазором 0,4–0,7 мм. Толщина стенки трубы-вставки должна обеспечивать ее продольную устойчивость, а длина – равняться или превышать расстояние от переднего патрона до точки начала захода трубы в рабочую клеть.

Таким образом, предложенная технология первоначального сочленения слоев на станах холодной периодической прокатки свободным редуцированием расширяет область технологического использования разработанной стационарной клетки [9] стана ХПТР. На ней можно получать не только тонкостенные и особотонкостенные трубы особовысокой точности, но и особотолстостенные многослойные монометаллические трубы с высоким качеством внутренней поверхности.

Использование только процесса безоправочного волочения для изготовления многослойных особотолстостенных монометаллических труб не является рациональным. Это объясняется, прежде всего, большой трудоемкостью изготовления вышеуказанных труб, связанной с невозможностью обеспечить значительную деформацию из-за больших усилий, действующих на волочильное кольцо.

При сочленении слоев свободным редуцированием, без учета упругой отдачи между ними, может произойти образование зазоров между слоями, в которых происходит окисление поверхности слоев при последующей термической обработке. Как следствие, сварка слоев не происходит, что отрицательно сказывается на эксплуатационных характеристиках готовых изделий [10]. Сочленяя слои, необходимо стремиться к тому, что бы на контактной поверхности слоев возникли значительные давления, способствующие их сварке при последующей термической обработке. Этого можно добиться, используя в качестве основы трубу в упрочненном состоянии, при этом, в процессе сочленения, обжатие по диаметру внутреннего слоя должно находиться в пределах 3–5 %.

Суммарное обжатие наружного и внутреннего слоев упрощенно можно определить с учетом упругой отдачи обоих слоев:

$$\Delta D_{\Sigma} = \Delta D_{PH} + \Delta D_{PO} + 2\left(\frac{\sigma_{TH} t_H}{E} + \frac{\sigma_{TO} t_O}{E} + \Delta t_{UT}\right),$$

где ΔD_{PH} и ΔD_{PO} – обжатие по диаметру наружного и внутреннего слоев, соответственно;

σ_{TH} и σ_{TO} – предел текучести материала наружного и внутреннего (основного) слоев, соответственно;

$\frac{\sigma_{TH} t_H}{E}$ и $\frac{\sigma_{TO} t_O}{E}$ – упругая отдача наружного и внутреннего слоев, соответственно;

E – модуль упругости;

$\Delta t_{UT} = (0,7 \div 0,8) t_H \frac{\Delta D_{PH}}{D_H}$ – утолщение наружного слоя в процессе свободного редуцирования [7], утолщением внутреннего слоя в виду его малой величины можно пренебречь.

Исходя из вышеизложенного, упрощенно, величину натяга по диаметру, возникающего при совместной деформации обоих слоев, можно определить выражением:

$$\Delta = 2\left(\frac{\sigma_{TH} t_H}{E} - \frac{\sigma_{TO} t_O}{E}\right).$$

Исходя из вышеизложенного, для подбора трубы – основы по механическим свойствам, можно пользоваться выражением:

$$\sigma_{TO} \geq 2\sigma_{TH}.$$

Контактное давление, действующее между слоями, можно определить экспериментальным способом – выпрессовкой внутреннего слоя на цилиндрических образцах:

$$P = \frac{N}{fF},$$

где N – усилие прессы, при выпрессовке внутреннего слоя;

F – площадь контакта между слоями;

f – коэффициент сухого трения «сталь-сталь» [11].

Для качественной характеристики многослойных особотолстостенных труб можно ввести показатель качества сварки слоев, определяемый по формуле:

$$P_{CB} = \frac{N_{CB}}{F},$$

где N_{CB} – усилие прессы, при выпрессовке внутреннего слоя;

F – площадь контакта между слоями (на цилиндрическом образце).

При этом испытания необходимо проводить на цилиндрических образцах после глубокого травления, проводимого с целью выявления границы слоев.

Особотолстостенные трубы малых диаметров в основной своей массе выпускались ранее по техническим условиям, срок действия которых истек в конце 90-х годов. Таким образом, имеется реальная перспектива их пересмотра или разработки новых технических условий с учетом возможности использования многослойных монометаллических труб, изготовленных по предложенной технологии.

Предложенная технология была апробирована при изготовлении коррозионностойких труб аустенитного класса м/с 08X18H12T размером 25×7 мм с техническими требованиями к качеству поверхности по ТУ 14-3-197-89*. По существующей на предприятии технологии данные трубы изготавливали из заготовки размером $32 \times 7,7$ мм (полученной прокаткой на стане ХПТ-75) безоправочным волочением по маршруту:

$$32 \times 7,7 \rightarrow 30 \times 7,6 \rightarrow 28 \times 7,4 \rightarrow 26 \times 7,1 \rightarrow 25 \times 7 \text{ мм}$$

с промежуточными термическими обработками, травлением и шлифовкой наружной поверхности на готовом размере. При этом, имели место поломки ротационно-ковочной машины из-за ее перегрузки при забивке головок, процесс волочения сопровождался постоянным налипанием металла трубы на волоку, что приводило к задирам по наружной поверхности. На готовом размере для улучшения качества внутренней поверхности необходимо было проводить операции дробеструйной и пескоструйной обработки.

С учетом рекомендуемых разработок на стане ХПТР 30–60 были изготовлены трубы для наружного слоя размером $28 \times 4,5$ мм, а на стане ХПТР 15–30 – трубы для внутреннего слоя размером $17 \times 2,5$ мм, последние, использовались в упрочненном состоянии после прокатки. Напряжение текучести наружного слоя составляло в среднем 232 МПа, внутреннего слоя – 592 МПа. После подбивки передних концов на ротационно-ковочной машине, предварительно собранные таким образом трубы были проредуцированы на стане ХПТ 30–60 с использованием рабочего инструмента, изготовленного с учетом рекомендаций работы [6]. Таким образом, маршрут изготовления труб был: $28 \times 7 \rightarrow 25 \times 7$. Готовые трубы имели высокое качество внутренней и наружной поверхностей, а также имел место полный контакт между слоями. Данная технология позволила существенно сократить и расходный коэффициент металла за счет уменьшения брака по наружной поверхности.

По предложенной технологии были также изготовлены трубы из коррозионностойкой марки стали аустенитного класса 08X18H10T размером $22 \times 9,5$ мм с техническими требованиями по ГОСТ 9941-81*. Следует отметить, что данные трубы (с отношением диаметра к толщине стенки 2,3) обычным способом изготовить не возможно.

*В работах принимали участие: А. В. Шаплыков (Никополь, НКАУ ГП «НТЗ»), С. Г. Жупиков (Южноукраинск, ГП НАЭК «Энергоатом» ОП Южноукраинская АЭС), а также В. В. Чехранов (Днепропетровск, ЭПУ ГТИ им. Я. Е. Осады).

ВЫВОДЫ

Впервые разработана новая рациональная технология изготовления холоднодеформированных осеботоростостенных труб малых диаметров с повышенным качеством внутренней поверхности, в которой, в отличие от применяемой, используется в качестве заготовки многослойная монометаллическая сборка. Исходя из практических соображений, для большинства типоразмеров труб достаточно разделения суммарной стенки на два слоя, исходя из отношения толщины внутреннего слоя к наружному 1:2.

Впервые определены основные условия обеспечения полного контакта между слоями готовых труб, получаемых свободным редуцированием, в части требований к механическим свойствам наружной трубы и внутренней трубы-основы, а также к обжатию по диаметру трубы-основы при сочленении.

Впервые получена техническая возможность изготавливать трубы диаметром менее 22 мм с отношением диаметра к толщине стенки менее 3, получить которые по существующей технологии из-за критического утонения стенки при безоправочном волочении нет возможности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Король Р. Н. Экспериментальное исследование влияния протяженности зон редуцирования и калибрования на точность труб при холодной периодической роликовой прокатке / Р. Н. Король // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. – Краматорськ : ДДМА, 2006. – С. 205–208.
2. Король Р. Н. Обоснование, разработка и внедрение рациональной технологии прокатки труб повышенной точности с использованием сварной заготовки на станах ХПТР : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.03.05 «Процессы и машины обработки давлением» / Р. Н. Король. – Днепропетровск, 2009. – 20 с.
3. Король Р. Н. Резервы повышения точности труб, прокатанных на станах холодной периодической роликовой прокатки (ХПТР) / Р. Н. Король, И. М. Амиров // Металл и литье Украины. – 2007. – № 5. – С. 54–59.
4. Король Р. Н. Развитие направлений повышения точности и качества прецизионных тонкостенных и осеботонкостенных труб при холодной периодической роликовой прокатке / Р. Н. Король // Металл и литье Украины. – 2008. – № 3–4. – С. 44–51.
5. Король Р. Н. Усовершенствование технологии изготовления тонкостенных и осеботонкостенных труб повышенной точности из сварной заготовки / Р. Н. Король, Н. Н. Очеретная, В. И. Кузьменко // Металл и литье Украины. – 2007. – № 3. – С. 21–25.
6. Король Р. Н. Рациональная технология уменьшения разностенности на тонкостенных и осеботонкостенных трубах / Р. Н. Король // Металл и литье Украины. – 2007. – № 9–10. – С. 47–50.
7. Шевакин Ю. Ф. Калибровка и усилия при холодной прокатке труб / Ю. Ф. Шевакин. – М. : Металлургия, 1963. – 270 с.
8. Король Р. Н. Определение силовых параметров процесса редуцирования труб на станах холодной периодической роликовой прокатки (ХПТР) / Р. Н. Король // Обработка металлов давлением : сборник науч. трудов. – Краматорск, ДГМА, 2008. – № 1(19). – С. 17–23.
9. Пат. 89257 Україна С2 В21В21/00. Робоча кліть роликового стану холодної прокатки труб / Р. Н. Король, І. П. Островський; заявник і патентооблач Національна Металургійна академія України. – № a200802922 ; заявл. 06.03.2008 ; опубл. 11.01.2010, Бюл. № 1.
10. Шевченко А. А. Совместная пластическая деформация трубных заготовок и создание начальных контактных давлений при изготовлении биметаллических труб термодиффузионным способом / А. А. Шевченко, Е. А. Резников, Ю. З. Комаровский // Производство труб. – М. : Металлургия, 1975. – № 1. – С. 83–98.
11. Крагельский И. В. Коэффициенты трения / И. В. Крагельский, И. Э. Виноградова. – М. : Машигиз, 1962. – 220 с.

Король Р. Н. – канд. техн. наук, ген. директор ЧНПП «Специальные трубы»;

Беликов Ю. М. – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, техн. консультант
ЧНПП «Специальные трубы»;

Мосьпан Н. Н. – ассистент НМетАУ.

Частное научно-производственное предприятие «Специальные трубы», г. Днепропетровск.
НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

E-mail: oezgti@ua.fm

Статья поступила в редакцию 06.03.2012 г.