**УДК 621.774.353**

Исследование формоизменения металла в процессе редуцирования труб но трехвалковом стане[[1]](#footnote-1)

Study of metal shaping in the process of pipes reduction on a three-roll mill

**Авторы:**

**Алещенко А.С.** доцент, заведующий кафедрой «Обработка металлов давлением» НИТУ «МИСиС» ([judger85@mail.ru](mailto:judger85@mail.ru))

**Будников А.С.** аспирант инженер кафедры «Обработка металлов давлением» НИТУ МИСиС ([fiar128@yandex.ru](mailto:fiar128@yandex.ru))

**Харитонов Е.А.** к.т.н. доцент кафедры «Обработка металлов давлением» НИТУ МИСиС (haritonov45@mail.ru)

**Аuthors:**

**A.S.** **Aleshchenko, A.S. Budnikov, E.A. Kharitonov**

**Ключевые слова:** Редуцирование, прокатка на оправке, трехвалковый стан, винтовая прокатка, овальность, контактная поверхность, формоизменение, очаг деформации, разностенность.

**Key words:** Reduction, rolling on mandrel, three-roll mill, helical rolling, oval distortion, contact surface, deformation region, accuracy of wall thickness

**Реферат.** В работе приведены результаты экспериментального исследования процесса безоправочной прокатки толстостенных труб, или редуцирования в условиях винтовой прокатки. Установлены основные закономерности изменения формы полых тел с соотношением диаметра к толщине стенки D/S равным 5, 7, 10 в процессе редуцирования на станах винтовой прокатки МИСиС 130Т. Отмечено влияние обжатия по диаметру на качество получаемых полых изделий и величину изменения толщины стенки. С увеличением обжатия по диаметру с 5% до 25%, разностенность получаемых труб снижается, а толщина стенки в процессе редуцирования увеличивается более интенсивно. Осуществлено сравнение овальности тормаженных образцов при редуцировании и прокатке на оправке, выяснены особенности распределения овальности и различия формоизменения по длине очага деформации в рассмотренных процессах. Предложена наиболее простая схема определения геометрии очага деформации при винтовой прокатки для процессов редуцирования и прокатки на оправке.

**Abstract.** The paper presents the results of an experimental study of the process of rolling without success of thick-walled pipes, or reduction in the conditions of helical rolling. The basic regularities of the change in the shape of hollow bodies with the ratio of diameter to wall thickness D / S equal to 5, 7, 10 are established in the process of reduction at MISiS 130T screw rolling mills. The effect of diameter reduction on the quality of the resulting hollow articles and the magnitude of the change in wall thickness is noted. With an increase in the reduction in diameter from 5% to 25%, the difference in the number of pipes produced decreases, and the thickness of the wall during the reduction increases more intensively. The ovality of the tamped samples is compared with reduction and rolling on a mandrel, the features of the ovality distribution and the difference in shape change along the length of the deformation center in the processes examined are elucidated. The simplest scheme for determining the geometry of the deformation center during screw rolling for the reduction and rolling processes on the mandrel is proposed.

Трехвалковые станы винтовой прокатки, входящие в трубопрокатные агрегаты (ТПА) применяются на стадии раскатки и калибровки толстостенных труб с высокой точностью по наружному диаметру и толщине стенки [1, 2]. В России эксплуатируются два агрегата имеющие в своем составе трехвалковые раскатные и калибровочные станы: ТПА-200 волжского трубного завода и ТПА-160 первоуральского новотрубного завода [3-5]. Использование калибровочного стана винтовой прокатки в качестве редукционного способствует расширению сортамента получаемых труб и увеличения их точности по толщине стенки [6]. Главное отличие процесса редуцирования от процесса калибровки заключается в обжатии черновой трубы по диаметру, для калибровки оно составляет 1%–5%, [2-4] а при редуцировании – более 10% [1-4], в связи с чем влияние формоизменения на качество и геометрические параметры готовой трубы возрастает.

Процесс редуцирования с большими обжатиями в двухвалковых станах винтовой прокатки исследовали в работе [6]. Известны также способы редуцирования толстостенных труб на трехвалковых станах, представленные в работах [7-8], где рассмотрен процесс прокатки труб при различных углах подачи. Однако данных по формоизменению металла в представленных работах нет. В статье рассмотрено редуцирование труб в станах винтовой прокатки, с целью изучение формоизменения металла так как высокая овальность раската снижает стабильность процесса прокатки [9-10], устойчивость профиля труб, особенно тонкостенных с соотношением диаметра к толщине стенки (D/S) более 10, повышается вероятность гранения труб [6, 10].

Для проведения исследования, был осуществлен эксперимент по редуцированию гильз с соотношением D/S равным 5, 7 и 10 в стане МИСиС 130 Т. В ходе выполнения эксперимента, получена партия полностью прокатанных без оправки труб, а так же торможенные образцы из гильз с соотношением D/S равным 10 и 7. Исходные полые заготовки гильзы диаметром 90 мм получены прошивкой на двухвалковом стане МИСиС 130 Д из сплошные заготовки диаметром 90 мм. Материал заготовок – стали 40Х, перед прошивкой заготовки нагревались в печи до температуры прокатки 11000С. Полученные гильзы были редуцированы по диаметру на 5 и 25% при температуре 9500С. Гильзы с D/S = 10 подвергли обжатию на 25% за два прохода: в первом на 16%, а во втором на 9%.

В таблицах представлены параметры труб и гильз полученных после прошивки (таблица 1) и редуцирования (таблица 2). В таблицах приняты следующие обозначения Dг, Dт – диаметр гильзы и трубы соответственно; Sг, Sт – толщина стенки гильзы и трубы соответственно; Dг/Sг, DТ/Sт – отношение диаметра к толщине стенки гильзы и трубы соответственно, Δ*S*г, Δ*S*т – разностенность гильзы и трубы соответственно.

Таблица 1 – Параметры гильз

Table 1 – Parameters of hollow billet

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| D/S | Dг/Sг  фактическое | Диаметр гильзы  Dг  мм | Средняя толщина стенки гильзы, Sг  мм | ΔSг % |
| 5 | 5,2 | 88,9 | 17,1 | 9,4 |
| 7 | 6,6 | 86,5 | 13,1 | 10,7 |
| 10 | 10,0 | 91,0 | 9,1 | 20,9 |

Таблица 2 – Параметры труб

Table 2 – Parameters of pipes

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| D/S | Обжатие по диаметру на 5% | | | | | | Обжатие по диаметру на 25% | | | | | |
| Dт/Sт | Dт  мм | Sт  мм | Изменение толщины стенки % | ΔSт % | Изменение  разностенности  в % | Dт/Sт | Dт  мм | Sт  мм | Изменение толщины стенки % | ΔSт % | Изменение  разностенности  в % |
| 5 | 4,8 | 84,9 | 17,7 | 3,4 | 7,2 | 23 | 3,4 | 66,6 | 19,6 | 15 | 6,2 | 34 |
| 7 | 6,3 | 83,8 | 13,3 | 1,5 | 9,1 | 15 | 3,8 | 65,1 | 16,4 | 25 | 6,5 | 40 |
| 10 | 8,8 | 84,1 | 9,7 | 6,5 | 13,5 | 35 | 6,0 | 67,8 | 11,5 | 28 | 11,4 | 45 |

Как видно из таблиц 1 и 2 в результате редуцирования труб на 5% и 25% по диаметру, увеличивается толщина стенки, что приводит к изменению D/S готовой трубы. Наиболее интенсивно толщина стенки увеличивается для тонкостенной трубы полученнной из гильзы с D/S=10. При ее обжатием на 25% толщина стенки увеличивается на 28%, а разностеннсть снижается на 45%. Менее интенсивно толщина стенки увеличивается для толстостенной трубы полученной из гильзы с D/S=5. При ее обжатии на 25% толщина стенки увеличивается на 15%, а разностенность снижается на 34%. Увеличение толщина стенки и снижение разностенности тонкостенных труб при безоправочной прокатке осуществляется более интенсивно.

В случае обжатия по диаметру на 5% для трубы полученной из гильз с D/S =10 толщина стенки увеличилась на 5,5%, а разностенность снизилась на 35%. При обжатии толстостенной гильзы с D/S=5 на 5%, толщина стенки практически не изменилась, а разностенность снизилась на 23 %. С уменьшением суммарного обжатия по диаметру интенсивность увеличения толщины стенки и снижения разностенности уменьшается.

Согласно источникам [6,12-14] увеличение толщины стенки связано с наличием радиальных деформаций. При безоправочной прокатке, металл течет как в осевом так и в радиальном направлении, однако, при редуцировании толстостенных труб, осевая деформация больше[15-17], что снижает интенсивность увеличения толщины стенки толстостенных труб. Изменение разностенности обусловлено наличием тангенциальных составляющих деформаций [7, 17], а также неравномерностью интенсивности деформации по сечению раската, т. е. на участках с большей толщиной стенки, ее увеличение менее интенсивно, чем на участках с меньшей, где она увеличивается более интенсивно [18]. Сочетание участков с меньшей и большей интенсивностью деформации снижает разницу между максимальным и минимальным значением толщины стенки раската в поперечном сечении что привело к уменьшению разностенности [18].

Торможённые образцы, полученные из гильз с D/S=7 и 10 представлены на рисунке 1. Пятна контактных поверхностей изображены на рисунке 2. В 12-ти поперечных сечениях (с шагом 10 мм для образца с D/S=10 и 24 мм для образца с D/S=7) осуществлялся замер ширин контактной поверхности и радиусов раската.

Длина пятен контактных поверхностей обусловлена суммарным обжатием. Так, торможённый образец с D/S = 10 подвергался редуцированию по диаметру на 14,4 мм или 16%, а с D/S=7 – на 22,5 мм или 25%, в результате чего, общая длина пятна контактной поверхности образца с D/S=7 – 288 мм, а образца с D/S=10 – 120 мм.

На рисунке 3 представлена схема поперечного сечения торможенного в стане образца. Точка *A* расположена на входе в контакт металла с валком, *R* – радиус образца при входе. Точке *B* соответствует участок контактной поверхности с кратчайшем расстоянием от оси прокатки до поверхности валка – *ОВ*, обозначенного на схеме как *r* . Точка *С* располагается на выходе металла из контакта с валком в момент прокатки, *r*вых – радиус при выходе.

При выключении двигателей стана, за счет проворачивания валков в обратном направлении, которое обусловлено снятием крутящего момента и упругих деформаций в шпинделе, участок *BC* обжимается, а в точке *B* образуется складка, позволяющая определить расположение этой точки на получившемся образце. Геометрическое местоположение точек *B* в каждом из рассмотренных сечений является границей между участками: *АВ* – входным и *ВС* – выходным. На схеме пятен контактной поверхности (рисунок 2) граница между участками обозначена сплошной линией.

Радиус раската при входе в контакт металла с валкомможно определить по ширине контактной поверхности входного участка. Так, как основная деформация по диаметру осуществляется на данном участке, то в расчетах можно исключить ширину контактной поверхности выходного участка, образующуюся за счет поперечной деформации образца в тангенциальном направлении и увеличении радиуса раската в зазорах между валками. С учетом ширины контактной поверхности, радиус при входе в контакт металла с валком можно определить по формуле (1):

(1)

где *b* – ширина контактной поверхности на входном участке;

– диаметр валка;

Для определения радиуса по формуле (1), требуется найти диаметра валка в каждом из рассмотренных сечений. Основываясь на методике расчета геометрии очага деформации [7], определим диаметр валка – и расчетное значение радиуса очага деформации – следующим образом (2)

Где – известный диаметр валка определенный по калибровке,

– шаг по оси X, принимается равным расстоянию между рассматриваемыми сечениями

α – угол наклона образующей валка к оси валка на рассматриваемом участке.

Расчетное значение радиуса *r*расч. *–* определяется по формуле (3) с учетом искажения очага деформации в результате разворота валков на угол подачи и раскатки.

(3)

В формуле (3) *H* – кратчайшее расстояние между осью валка и осью прокатки, определение которого описано в работе [8].

Косинус и синус угла φ с достаточной точностью определяются уравнениями (4)

|  |  |
| --- | --- |
| где – расстояние от оси поворота валка на угол подачи до рассматриваемого сечения | (4) |

Измеренные и расчетные геометрические параметры торможённых образцов с D/S = 10 представлены в таблице 3, с D/S=7 – в таблице 4.

Таблица 3 – Геометрические параметры образца с D/S=10

Table 3 – Geometric parameters of the sample with D / S = 10

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина очага деформации, мм | Измеренные значения по образцу, мм | | | Рассчитанные значения, мм | | Разница в % | | Овальность |
| *r*  (образец) | *R*  (образец) | Ширина входного участка b | *r*  (очаг деформации) | *Rb* | *Δr* | *ΔR* | ξ |
| 0 | 45,4 | 45,4 | 0 | 45,5 | 45,4 | 0,2 | 0,0 | 1,000 |
| 10 | 44,0 | 45,9 | 16,8 | 43,7 | 48,2 | 0,7 | 5,0 | 1,043 |
| 20 | 41,6 | 45,4 | 18,7 | 41,7 | 47,0 | 0,2 | 3,5 | 1,091 |
| 30 | 39,8 | 43,7 | 16,6 | 40,1 | 44,2 | 0,8 | 1,1 | 1,098 |
| 40 | 39,0 | 41,4 | 13,7 | 39,7 | 42,0 | 1,8 | 1,4 | 1,062 |
| 50 | 38,9 | 39,8 | 11,3 | 39,4 | 41,0 | 1,3 | 3,0 | 1,023 |
| 60 | 38,5 | 39,5 | 9,9 | 39,0 | 40,1 | 1,3 | 1,5 | 1,026 |
| 70 | 38,4 | 39,0 | 9,6 | 38,7 | 39,9 | 0,8 | 2,3 | 1,016 |
| 80 | 38,1 | 38,9 | 8,8 | 38,4 | 39,4 | 0,8 | 1,3 | 1,021 |
| 90 | 38,1 | 38,2 | 8,9 | 38,2 | 39,4 | 0,3 | 3,1 | 1,003 |
| 100 | 37,8 | 38,4 | 8,2 | 37,9 | 38,9 | 0,3 | 1,3 | 1,016 |
| 110 | 37,9 | 38,1 | 7,9 | 38,0 | 39,0 | 0,3 | 2,4 | 1,005 |
| 120 | 38,0 | 38,0 | 3,6 | 38,1 | 38,2 | 0,3 | 0,5 | 1,000 |

Таблица 4 – Геометрические параметры образца с D/S=7

Table 3 – Geometric parameters of the sample with D / S = 7

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина очага деформации, мм | Измеренные значения по образцу, мм | | | Рассчитанные значения, мм | | Разница в % | | Овальность |
| *r*  (образец) | *R*  (образец) | Ширина входного участка b | *r*  (очаг деформации) | *Rb* | *Δr* | *ΔR* | ξ |
| 0 | 45,4 | 45,4 | 0 | 45,4 | 45,4 | 0,0 | 0,0 | 1,000 |
| 24 | 42,9 | 44,5 | 15,4 | 43,4 | 46,5 | 1,2 | 4,4 | 1,037 |
| 48 | 40,5 | 43,4 | 17 | 41,4 | 45,0 | 2,3 | 3,8 | 1,072 |
| 72 | 38,5 | 41,3 | 18 | 39,5 | 43,8 | 2,5 | 6,1 | 1,073 |
| 96 | 36,5 | 39,3 | 17,7 | 37,6 | 41,8 | 2,9 | 6,5 | 1,077 |
| 120 | 34,8 | 37,5 | 15,9 | 35,7 | 39,3 | 2,5 | 4,8 | 1,078 |
| 144 | 33,6 | 35,7 | 12,7 | 33,8 | 36,5 | 0,6 | 2,4 | 1,063 |
| 168 | 33,3 | 34,5 | 10 | 32,5 | 35,1 | 2,5 | 1,9 | 1,036 |
| 192 | 33,1 | 34 | 12,3 | 32,5 | 35,9 | 1,9 | 5,6 | 1,027 |
| 216 | 32,9 | 33,8 | 13,5 | 32,5 | 36,3 | 1,3 | 7,4 | 1,027 |
| 240 | 32,8 | 33,2 | 13,8 | 32,5 | 36,3 | 1,0 | 9,5 | 1,012 |
| 264 | 32,8 | 33 | 13,7 | 32,5 | 36,3 | 1,0 | 10,0 | 1,006 |
| 288 | 32,9 | 32,9 | 13,5 | 32,5 | 36,3 | 1,3 | 10,3 | 1,000 |

Разница между расчетными и измеренными значениями радиусов *R* и *r* не превышает 10,3%, следовательно, расчеты можно считать верными. Поскольку образцы были подвержены редуцированию в одном очаге деформации с разными суммарными обжатиями, то их геометрические параметры схожие, отличие заключается только в длине контактной поверхности (длине очагов деформации) поэтому на рисунке 4 представлены графики изменения радиусов раската только для образца с D/S=10.

Из графиков видно, что расчетные и измеренные значения достаточно близки друг к другу.

Основной характеристикой формоизменения металла в трехвалковых станах винтовой прокатки является овальность раската в очаге деформации [10, 19-20], которая равна отношению радиуса раската при входе в контакт металла с валком – *R* к радиусу раската под валком – *r* или кратчайшему расстоянию от си прокатки до поверхности валка. Овальность раската выраженная коэффициентом овальности *ξ* (5) [10]

(5)

В таблицах 3, 4 представлены значения *ξ,* на рисунке 5 графики овальности для образцов с D/S=10 и 7 в зоне очага деформации.

На обжимном участке радиусы раската под валком уменьшаются, а радиусы раската при входе в контакт металла с валком в результате тангенциального смещением металла в зазоры между валками увеличиваются (рисунок 4), что приводит к наибольшей разнице между значениями радиусов *R* и *r*, а так же высокой овальность раската. Максимальное значение коэффициента овальности для образца полученного из гильзы с D/S=10, составляет 1,098, а для образца полученного из гильзы с D/S=7 – 1,078. На калибрующем участка разница между радиусами раската существенно снижается. Овальность раската становится меньше.

Овальность торможённого образца, полученного из гильзы с D/S=10 выше, чем образца полученного из гильзы с D/S=7. Учитывая, что длина очага деформации для первого образца гораздо меньше, то интенсивность изменения овальности оказывается выше (для образца с D/S=10 на обжимном участке длиной 50 мм овальность увеличивается до 1,098, а для образца с D/S=7 на участке длиной 120 мм – до 1,078), следовательно устойчивость профиля первого образца в процессе редуцирования была ниже. Тонкостенный образец сильнее подвержен потере устойчивости, радиальному смещению металла в зазоры между валками и образованию гранности.

На рисунке 6 представлены графики овальности торможённого образца полученного при редуцировании из гильзы с D/S=7 (обозначено сплошной линией) и торможённого образца, полученного при прокатке на цилиндрической плавающей оправке (обозначено пунктирной линией). Образец получен в процессе раскатки гильзы диаметром 80 мм с толщиной стенки 20 мм D/S=4 в трубу диаметром 71 мм с толщиной стенки 18 мм [7]. Обжатие по диаметру при прокатке трубы на оправке составляет 11%, а по толщине стенки – 2 мм. В связи с наличием обжатия по стенке, овальность увеличивается до 1,122, что на 20% больше овальности образца, полученного из гильзы с D/S=10, и на 36% больше овальности образца – из гильзы с D/S=7.

В процессе прокатки труб на оправке, овальность раската изменяется более интенсивно. Наличие оправки препятствует радиальной деформации металла направленной к оси прокатки, в связи с чем толщина стенки уменьшается, а D/S трубы увеличивается. Устойчивость профиля трубы к тангенциальному смещению металла в зазоры между валками становится меньше, в результате чего овальность раската на калибрующем участке снижается незначительно. Так, овальность образца, полученного при редуцировании уменьшилась на 65% (с 1,078 до 1,027), а образца, полученного при раскатке – на 8% (1,122 до 1,112).

**Выводы:**

Редуцирование труб из гильз с D/S равным 5, 7, 10 в стане винтовой прокатки при обжатии по диаметру на 5 и 25% осуществляется с увеличением толщины стенки.

Изменение толщины стенки и уменьшение разностенности получаемых труб пропорционально увеличению обжатия по диаметру. При обжатии на 5%, разностенность уменьшается на (15-23) %, а толщина стенки увеличивается на (3,4-6,5) %. При обжатии на 25% разностенность уменьшается на (34-45) %, а толщина стенки увеличивается на (15–25) % в зависимости от D/S исходной заготовки.

В процессе безоправочной прокатки или редуцирования труб, толщина стенки увеличивается в связи с наличием радиальных деформаций, направленных к оси прокатки. Отношение D/S трубы уменьшается что приводит к увеличению устойчивости профиля, овальность раската на калибрующем участке снижается интенсивнее.

Основное снижение овальности в процессе раскатки трубы наблюдается на выходном участке в результате ее обкатки, что приводит к увеличению ее диаметра по отношению к диаметру калибра. В процессе безоправочной прокатки основное снижение овальности наблюдается на калибрующем участке.

**Список литературы**

1 Романцев Б.А., Гончарук А.В., Вавилкин Н.М. и др. Трубное производство: учеб. — 2-е изд., исп. и доп. — М. : ИД «МИСиС», 2011. — 970 с.

2 . А.П. Коликов, Б.А. Романцев. Теория обработки металлов давлением. Учебник // М.: Изд. Дом МИСиС, 2015.–451 с.

3 Романенко В.П., Степанов П.П., Гончарук А.В., Крискович С.М., Илларионов Г.П., Никулин А.Н., Филиппов Г.А. Перспективная технология производства полых вагонных осей из полой заготовки. // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2016. № 2. С. 27-34.

4 Основы теории и технологических процессов ОМД и трубного производства учебное пособие. Харитонов Е.А., Галкин С.П., Самусев С.В., Будников А.С., Фадеев В.А. – М.: изд. Дом. МИСиС 2017 172 с.

5 Ю.Ф. Шевакин, А.П. Коликов, В.П. Романенко, С.В. Самусев, Машины и агрегаты для производства стальных труб: учебное пособие. – М.: Интермет Инжиниринг, 2007. – 388 с.

6 Исследование процесса винтовой прокатки толстостенных гильз и труб: спец. 05.167.05 – «обработка металлов давлением». Дисс…к.т.н. / В.И. Шаманаев, И.Н. Потапов. – М.: МИСиС , 1979. – 251 с.

7 Pat. US. No 4409810, B 21 B 19/06. Process for manufacturing seamless metal tubes / Yamada T. 1983.

8 Pat. US 3495429, B 21 B 19/06. Method of reducing tubes, especially thick-walled tubes and means for practicing the method / Muller G. 1966.

9 Romantsev B.A., Gamin, Y.V., Goncharuk, A.V., Aleshchenko, A.S. Innovative Equipment for Producing Cost-Effective Hollow Billets for Mechanical-Engineering Parts of Small Diameter // Metallurgist Volume 61, Issue 3-4, 1 July 2017, Pages 217-222

10 Kharitonov, E.A., Romanenko, V.P., Budnikov, A.S. Sleeve deformation in a three-roller screw-rolling mill // Steel in Translation Volume 46, Issue 3, 1 March 2016, Pages 180-185

11 Karpov, B.V., Skripalenko, M.M., Galkin, S.P, Huy, T.B., Pavlov, S.A. Studying the Nonstationary Stages of Screw Rolling of Billets with Profiled Ends // Metallurgist Volume 61, Issue 3-4, 1 July 2017, Pages 257-264.

12Man-soo Joun, Jangho Lee, Jae-min Cho et al. Quantitative study on Mannesmann effect in roll piercing of hollow shaft // Procedia Engineering 81, 2014 pp 197-202.

13 Fu-jie Wang, Yuan-hua Shuang, Jiab-hua Hu at et al. Explorative study of tandem skew rolling process for producing seamless steel tubes // Journal of Materials Technology, 2014 p. 7-14.

14 Naizabekov A.B., Lezhnev S.N., Dyja H.et. al. The effect of cross rolling on the microstructure of ferrous and non-ferrous metals and alloys // Metallurgy. 2016. N 56. p.p 199-202.

15 С.П. Галкин. Показатель поперечной деформации при прошивке в стане винтовой прокатки. // производство проката, 2011, № 2, с. 18-23.

16 Галкин С. П., Фадеев В.А., Гусак А.Ю. Cопоставительный анализ геометрии мини-станов радиально-сдвиговой (винтовой) прокатки // Производство проката №12. 2015. С. 19–25

17 А.Н. Никулин, Винтовая прокатка. Напряжения и деформации. М.: Металлургиздат,2015. 380 с.

18 Будников А.С., Харитонов Е.А., Сорокин Ф.В. и др. Исследование разностенности труб в процессе редуцирования на трехвалковом стане винтовой прокатки. // Сталь 2017, № 10 с. 31 – 34.

19 Romancev, B.A., Goncharuk, A.V., Aleshchenko, A.S., Gamin, Y.V. Production of hollow thick-walled profiles and pipes made of titanium alloys by screw rolling. // Russian Journal of Non-Ferrous Metals Volume 56, Issue 5, 1 September 2015, Pages 522-526.

20 Романенко В.П., Манько А.И., Степанов П.П., Перминова О.Н., Крискович С.М. Перспективная технология получения полых вагонных осей на основе винтовой прошивки // Актуальные проблемы в машиностроении 2017 № 2 с. 28–34

**References**

1 Romancev B.A., Goncharuk A.V., Vavilkin N.M. at all. *Trubnoe proizvodstvo* [Pipe production] : ucheb. — 2-e izd., isp. i dop. — M. : ID «MISiS», 2011. — 970 p.

2 . A.P. Kolikov, B.A. Romancev. *Teorija obrabotki metallov davleniem* [Theory of metal forming]. Uchebnik // M.: Izd. Dom MISiS, 2015.–451 p.p.

3 Romanenko V.P., Stepanov P.P., Goncharuk A.V., Kriskovich S.M., Illarionov G.P., Nikulin A.N., Filippov G.A. *Perspektivnaja tehnologija proizvodstva polyh vagonnyh osej iz poloj zagotovki* [Perspective technology of hollow car axle production from hollow billets]. // Problemy chernoj metallurgii i materialovedenija. 2016. № 2. p.p. 27-34.

4 *Osnovy teorii i tehnologicheskih processov OMD i trubnogo proizvodstva uchebnoe posobie*. [Fundamentals of the theory and technological processes of OMD and pipe production] Haritonov E.A., Galkin S.P., Samusev S.V., Budnikov A.S., Fadeev V.A. – M.: izd. Dom. MISiS 2017 p. 172

5 Ju.F. Shevakin, A.P. Kolikov, V.P. Romanenko, S.V. Samusev, Mashiny i agregaty dlja proizvodstva stal'nyh trub: uchebnoe posobie. – M.: Intermet Inzhiniring, 2007. – 388 s.

6 Issledovanie processa vintovoj prokatki tolstostennyh gil'z i trub: spec. 05.167.05 – «obrabotka metallov davleniem». Diss…k.t.n. / V.I. Shamanaev, I.N. Potapov. – M.: MISiS, p.p. 1979. – 251

7 Pat. US. No 4409810, B 21 B 19/06. Process for manufacturing seamless metal tubes / Yamada T. 1983.

8 Pat. US 3495429, B 21 B 19/06. Method of reducing tubes, especially thick-walled tubes and means for practicing the method / Muller G. 1966.

9 Romantsev B.A., Gamin, Y.V., Goncharuk, A.V., Aleshchenko, A.S. Innovative Equipment for Producing Cost-Effective Hollow Billets for Mechanical-Engineering Parts of Small Diameter // Metallurgist Volume 61, Issue 3-4, 1 July 2017, p.p. 217-222

10 Kharitonov, E.A., Romanenko, V.P., Budnikov, A.S. Sleeve deformation in a three-roller screw-rolling mill // Steel in Translation Volume 46, Issue 3, 1 March 2016, p.p. 180-185

11 Karpov, B.V., Skripalenko, M.M., Galkin, S.P, Huy, T.B., Pavlov, S.A. Studying the Nonstationary Stages of Screw Rolling of Billets with Profiled Ends // Metallurgist Volume 61, Issue 3-4, 1 July 2017, p.p. 257-264.

12 Man-soo Joun, Jangho Lee, Jae-min Cho et al. Quantitative study on Mannesmann effect in roll piercing of hollow shaft // Procedia Engineering 81, 2014 p.p. 197-202.

13 Fu-jie Wang, Yuan-hua Shuang, Jiab-hua Hu at et al. Explorative study of tandem skew rolling process for producing seamless steel tubes // Journal of Materials Technology, 2014 p.p.7-14.

14 Naizabekov A.B., Lezhnev S.N., Dyja H.et. al. The effect of cross rolling on the microstructure of ferrous and non-ferrous metals and alloys // Metallurgy. 2016. N 56. p.p. 199-202.

15 S.P. Galkin. Pokazatel' poperechnoj deformacii pri proshivke v stane vintovoj prokatki. // proizvodstvo prokata [The index of transverse deformation at the piercing in the mill of screw rolling], 2011, № 2, p.p. 18-23.

16 Galkin S. P., Fadeev V.A., Gusak A.Ju. Copostavitel'nyj analiz geometrii mini-stanov radial'no-sdvigovoj (vintovoj) prokatki [Comparative analysis of the geometry of rolling mill radial displacements] // Proizvodstvo prokata №12. 2015. p.p. 19–25

17 A.N. Nikulin, Vintovaja prokatka. Naprjazhenija i deformacii [Screw rolling. Stresses and strains]. M.: Metallurgizdat,2015. 380 p.

18 Budnikov A.S., Haritonov E.A., Sorokin F.V. i dr. Issledovanie raznostennosti trub v processe reducirovanija na trehvalkovom stane vintovoj prokatki [Investigation of pipe difference in process reduction at three-wave screw rolling]. // Stal' 2017, № 10 p.p. 31 – 34.

19 Romancev, B.A., Goncharuk, A.V., Aleshchenko, A.S., Gamin, Y.V. Production of hollow thick-walled profiles and pipes made of titanium alloys by screw rolling. // Russian Journal of Non-Ferrous Metals Volume 56, Issue 5, 1 September 2015, p.p. 522-526.

20 Romanenko V.P., Man'ko A.I., Stepanov P.P., Perminova O.N., Kriskovich S.M. Perspektivnaja tehnologija poluchenija polyh vagonnyh osej na osnove vintovoj proshivki [A promising technology for obtaining hollow car axes based on helical firmware] // Aktual'nye problemy v mashinostroenii 2017 № 2 p.p. 28–34

1. В работе принимали участие Р.В. Исхаков и А.Р., Шамилов (АО ПНТЗ) [↑](#footnote-ref-1)