

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССА ПРОШИВКИ ТРУБ НА ТПА 70-270 С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Орлов Д.А.^{1,2}, аспирант кафедры «Обработка металлов давлением», главный специалист
по технологии производства бесшовных труб (mr.orlovdmittrii@gmail.com)

Гончарук А.В.¹, д.т.н., профессор кафедры «Обработка металлов давлением» (gon@misis.ru)

Кобелев О.А.³, д.т.н., главный специалист ГК «РОСАТОМ» (oakobelev@cnitmash.com)

Комарницкая О.Г.¹, бакалавр кафедры «Обработка металлов
давлением» (okomarnitskaia@gmail.com)

Буниц Н.С.¹, магистр кафедры «Обработка металлов давлением» (1thewall1@gmail.com)

¹ Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
(119049, Россия, Москва, Ленинский пр., 4)

² АО «Выксунский металлургический завод»
(607060, Россия, Нижегородская обл., Выкса, ул. Бр. Баташевых, 45)

³ Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения, ОАО НПО «ЦНИИТМАШ»
(115088, Россия, Москва, Шарикоподшипниковская ул., 4)

Аннотация. Проведен анализ процесса прошивки и раскатки труб на ТПА 70-270 АО «Выксунский металлургический завод» с точки зрения энергосиловых параметров (ЭСП), времени прошивки и геометрических размеров труб. Выполнено сопоставление полученных результатов с результатами компьютерного моделирования в программном комплексе QFORM 3D. Для моделирования спроектированы очаги деформации для прошивки гильзы размерами 203×16,5 мм за один проход на оправке диам. 162 мм и за две операции прошивки и раскатки на оправках диам. 76 и 162 мм соответственно. Из полученных данных по энергосиловым параметрам установлено, что с точки зрения энергозатрат прошивка в один проход на оправке диам. 162 мм представляется более целесообразной. Однако при прошивке за одну операцию резко снижается износостойкость оправок, так как увеличивается время контакта между инструментом и горячим металлом. Это приводит к снижению качества внутренней поверхности гильз и труб, более частой замене инструмента и повышению простоев оборудования. При моделировании выбранный параметр фактора трения оказывает значительное влияние на значение энергосиловых параметров (крутящего момента и потребляемой мощности) и времени прошивки. Получены зависимости изменения энергосиловых параметров и времени прошивки от фактора трения при прошивке в двухвалковом стане с направляющими линейками. С возрастанием фактора трения снижается время прошивки и увеличиваются момент и мощность прокатки. Результаты моделирования коррелируются с экспериментальными результатами опытных прокаток. При правильно выбранном значении фактора трения ЭСП, время прокатки и геометрия гильзы могут быть с достаточной точностью спрогнозированы при помощи компьютерного моделирования.

Ключевые слова: прошивка, раскатка, винтовая прокатка, мощность прокатки, очаг деформации, метод конечных элементов (МКЭ), фактор трения.

DOI: 10.17073/0368-0797-2020-10-848-855

ВВЕДЕНИЕ

В условиях современной рыночной ситуации трубные предприятия вынуждены постоянно развивать технологию производства, совершенствовать качество продукции и расширять размерный и марочный сортамент [1]. При освоении новых типоразмеров труб необходимы разработка режимов деформации, проектирование калибровок инструмента, оценка возможности производства на имеющемся технологическом оборудовании и другие инженерные расчеты [2 – 4].

В последние годы инженерно-технические центры предприятий и исследовательские институты широко используют в своей работе программные комплексы на основе конечно-элементного моделирования [5, 6].

С одной стороны, это позволяет на первоначальном этапе провести оценку принимаемых решений, проанализировать формоизменение при использовании новых калибровок, энергосиловые параметры и другие условия процесса деформации. С другой стороны, адекватность результатов расчета во многом зависит от используемых исходных параметров [7]. Поэтому для каждого процесса необходима верификация полученных результатов путем их сопоставления с результатами реального процесса. Имея данные опытных или промышленных прокаток возможно настроить расчетную модель и использовать ее в дальнейшем для проверки новых разработок. Результаты многочисленных исследований, опубликованные в периодических научных изданиях, подтверждают обоснованность и перс-

пективность применения программ для моделирования процессов ОМД [8, 9]. В работе [10] проводилось моделирование процесса прошивки на стане винтовой прокатки с направляющими дисками. На основе компьютерного моделирования процесса раскатки труб в трехвалковом стане винтовой прокатки в QFORM выполнялись исследования формоизменения металла в очаге деформации [11]. В работе [12] рассмотрены особенности износа валков и оправок прошивного стана с применением компьютерного моделирования. Кроме анализа энергосиловых параметров [13] и особенностей формоизменения, компьютерное моделирование также применяют для предсказания разрушения во время деформации [14] и формирования микроструктуры [15].

В 2008 г. на АО «Выксунский металлургический завод» (ВМЗ) в составе ТЭЦ № 3 введен в строй действующих участок ТПА 70-270 производства горячедеформированных труб, используемых при изготовлении муфт для труб нефтяного сортамента [16]. Данный ТПА имеет возможность увеличения производительности до 50 тыс. т в год.

Целью данной работы является анализ процесса горячей прокатки труб и сравнение результатов моделирования с результатами реального процесса при изменении фактора трения.

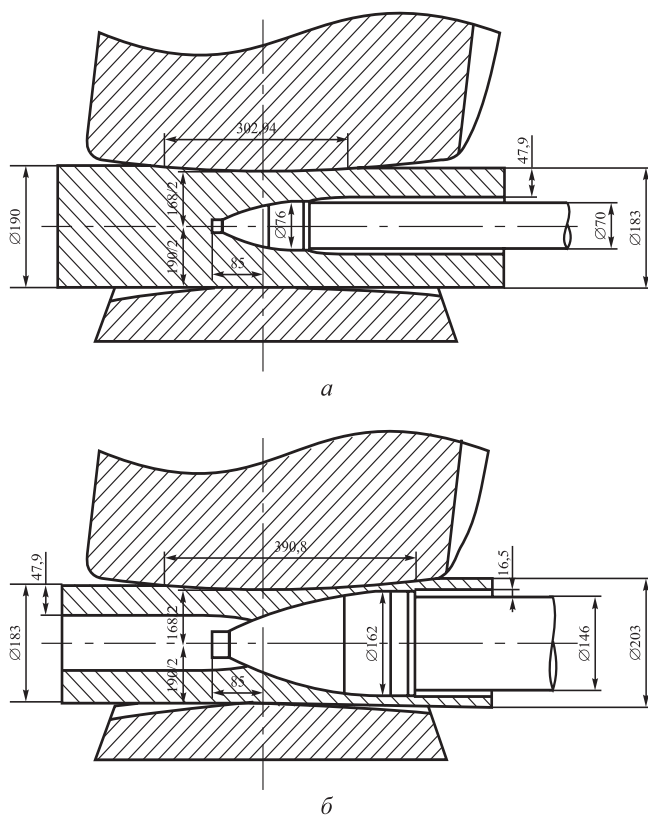


Рис. 1. Схема настройки очага деформации при прошивке (а) и раскатке (б)

Fig. 1. Scheme of deformation zone setting parameters for piercing (a) and rolling-off (b)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ ТРУБ НА ТПА 70-270

Экспериментальные исследования процесса прокатки бесшовных труб проводились на ТПА 70-270 АО «ВМЗ» [17 – 19]. Для проведения опытных прокаток и сравнения экспериментальных данных с результатами моделирования выбран типоразмер труб диам. 203 мм с толщиной стенки 16,5 мм. Для получения данной трубы были спроектированы очаги деформации прошивного/раскатного стана с возможностью получения за одну, либо за две операции прошивки прошивку и раскатку (рис. 1, 2).

В качестве исходной была использована заготовка из стали марки 45 диам. 190 мм. Перед прошивкой заготовки нагревали в печи с шагающим подом до температуры 1180 °С. Суммарное время нагрева составляло 2,5 ч.

Процесс прокатки протекал стабильно, без нарушения первичного и вторичного захвата. В процессе проведения эксперимента контролировали геометрические размеры полученных труб, время прокатки и энергосиловые параметры процесса (крутящий момент и потребляемую мощность прокатки).

В табл. 1 представлены размеры полученных гильз и труб после прошивки и раскатки.

При прошивке на оправке меньшего диаметра устойчивость стержня меньше, поэтому средняя разностенность после первого прохода выше, однако на конечных трубах разностенность одинаковая.

На рис. 3, 4 представлены графики крутящего момента на рабочем валке и потребляемой мощности при прошивке и раскатке труб, полученные из системы управления частотными преобразователями главного привода прошивного стана.

При прошивке на оправке диам. 76 мм крутящий момент на одном валке при установившемся режиме составил в среднем 110 – 125 кН·м, мощность прокатки – 650 – 800 кВт. Графики изменения момента и мощ-

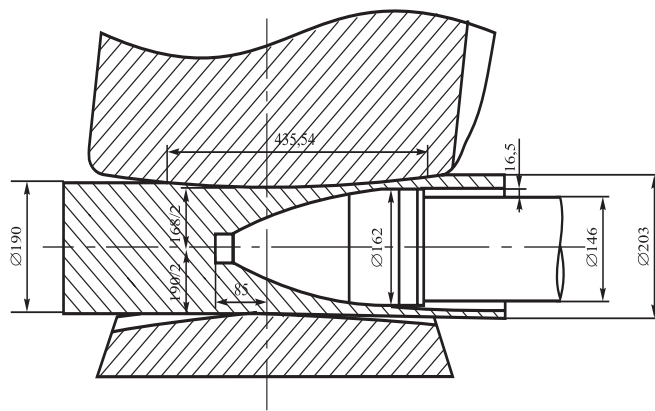


Рис. 2. Схема настройки очага деформации при прошивке в одну операцию

Fig. 2. Scheme of deformation zone setting parameters for piercing in one pass

Геометрические размеры гильз и труб после экспериментальной прокатки на ТПА 70-270

Table 1. Geometric dimensions of the mold tubes and pipes after experimental rolling on PRP 70-270

Показатель	Наружный диаметр гильзы/трубы, мм	Толщина стенки гильзы/трубы, мм	Средняя разностенность гильзы/трубы, мм
Прошивка на оправке диам. 76 мм	183	47,3	2,7
Раскатка на оправке диам. 162 мм	203	16,5	1,2
Прошивка на оправке диам. 162 мм	203	16,5	1,2

ности прокатки имеют характерный вид с интенсивным ростом и снижением значений при заполнении и осво-бождении очага деформации соответственно. Устано-вившаяся стадия прошивки занимает приблизительно 8 с, а весь процесс – 13 с.

В процессе раскатки прошивой гильзы на оправке диам. 162 мм значения крутящего момента и мощности возрастают и составляют для одного валка на устано-вившейся стадии 125 – 150 кН·м и 850 – 950 кВт со-ответственно. Увеличение энергосиловых параметров в данном случае объясняется некоторым снижением температуры гильзы и увеличением площади контакт-ной поверхности между валком и заготовкой.

Суммарное время раскатки составило приблизи-тельно 23 с, а время установившейся фазы – 15 с.

На рис. 5 представлены графики крутящего момента и потребляемой мощности при прошивке в один проход на оправке диам. 162 мм.

Суммарное время прошивки в данном случае со-ставило 25 с, а время установившейся стадии процес-са – 17 с. Максимальные момент и мощность прокатки наблюдаются в конце установившейся стадии и состав-ляют 125 – 150 кН·м и 780 – 900 кВт соответственно.

Во всех случаях можно отметить разницу в энер-госиловых параметрах для левого и правого валка, которая достигает 25 кН·м для крутящего момента

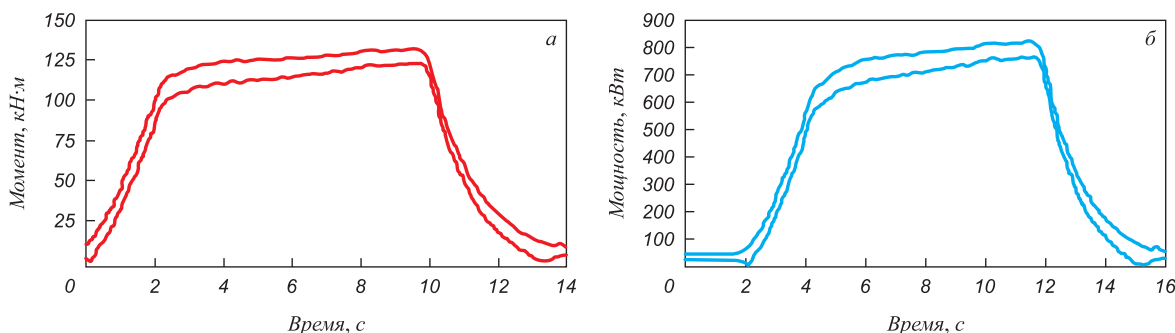


Рис. 3. Крутящий момент (а) и потребляемая мощность (б) при прошивке заготовок диам. 190 мм на оправке диам. 76 мм. На левый валок (по ходу прокатки) нагрузка выше

Fig. 3. Torque (a) and power consumption (б) for piercing billets with diameter of 190 mm on mandrel with diameter of 76 mm. On the left mill roll (during piercing) the load is higher

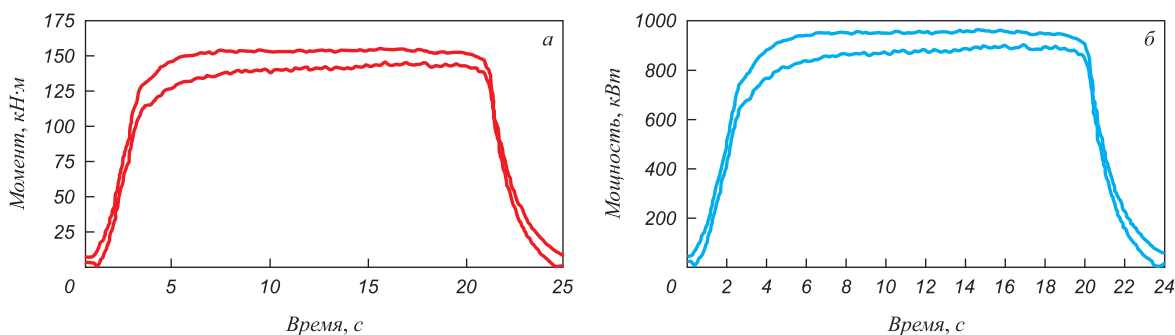


Рис. 4. Крутящий момент (а) и потребляемая мощность (б) при раскатке гильзы на оправке диам. 162 мм. На левый валок (по ходу прокатки) нагрузка выше

Fig. 4. Torque (a) and power consumption (б) for rolling-off the mold tube on mandrel with diameter of 162 mm. On the left mill roll (during piercing) the load is higher

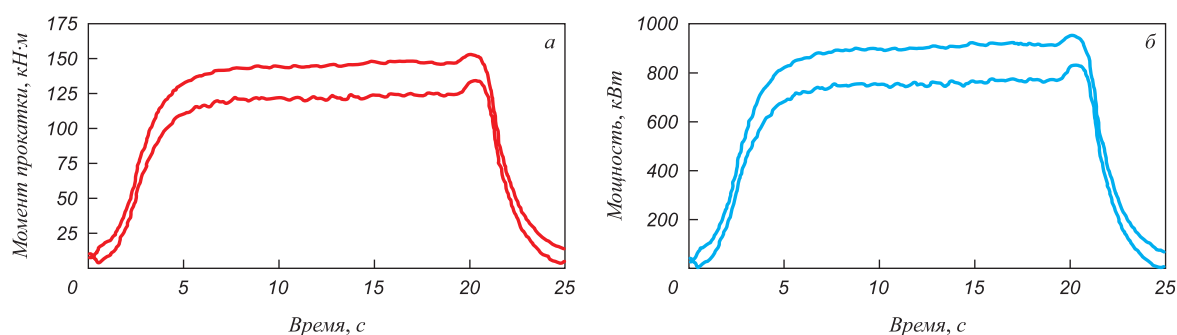


Рис. 5. Момент (а) и мощность (б) прокатки при прошивке на оправке диам. 162 мм.
На левый валок (по ходу прокатки) нагрузка выше

Fig. 5. Rolling torque (a) and power (b) for piercing on mandrel with diameter of 162 mm.
On the left mill roll (during piercing) the load is higher

и 150 кВт по мощности. Данный факт может быть связан с несимметричной настройкой очага деформации или различиями условий трения в узлах главного привода (шпиндельных устройствах или редукторах) и на контакте металла с рабочими валками.

Из полученных данных по энергосиловым параметрам можно заключить, что с точки зрения энергозатрат прошивка в один проход на оправке диам. 162 мм представляется более целесообразной. Однако при прошивке за одну операцию резко снижается износостойкость оправок, так как увеличивается время контакта между инструментом и горячим металлом [1, 12]. Это приводит к снижению качества внутренней поверхности гильз и труб, более частой замене инструмента и повышению простоев оборудования. Данные факторы также должны учитываться при выборе режимов деформации.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОШИВКИ И РАСКАТКИ

Моделирование процесса прошивки выполнялось в QFORM 3D [20] в полном соответствии с реальными размерами рабочего инструмента прошивного/раскатного стана и параметрами настройки очагов деформации (см. рис. 1, 2).

Основные исходные параметры, принятые при моделировании, представлены в табл. 2.

В зависимости от изменения фактора трения между рабочими валками и заготовкой анализировались изменения ЭСП и размеров получаемых гильз, а также время прокатки. Для проведения моделирования были созданы трехмерные модели очагов деформации в соответствии с выбранными параметрами настройки (рис. 6).

Таблица 2

Исходные данные для моделирования процесса прошивки и раскатки

Table 2. Source data for modeling piercing and rolling-off process

Параметр	Значение
Материал заготовки	Сталь 45
Температура нагрева заготовки, °C	1180
Размеры исходной заготовки, мм	
– диаметр	190
– длина	2110
Материал рабочих валков	40X
Материал оправки и линеек	4X5МФС
Температура инструмента, °C	50
Частота вращения рабочих валков, об/мин	60
Угол подачи, град	12
Угол раскатки, град	5
Условия трения между валками и заготовкой	var (по закону Зибеля)
Условия трения между оправкой и заготовкой (фактор трения)	Без смазки (0,8 по закону Леванова)
Условия трения между линейками и заготовкой (фактор трения)	Без смазки (0,8 по закону Леванова)

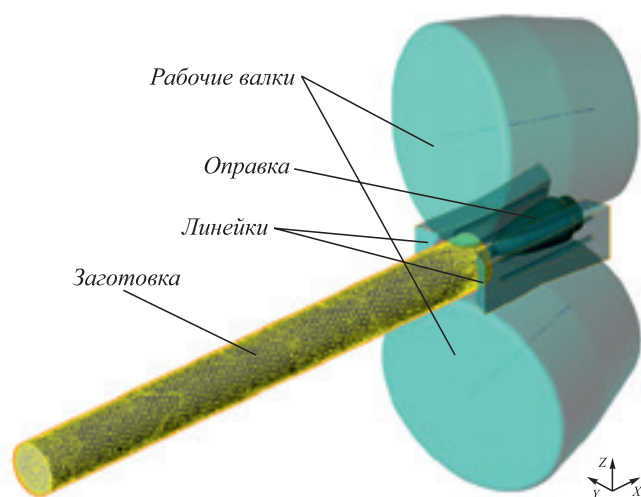


Рис. 6. Трехмерная модель очага деформации для прошивки заготовки

Fig. 6. Three-dimensional model of deformation zone for piercing process

На входе и выходе из очага деформации имеются виртуальные проводки, обеспечивающие удержание заготовки и гильзы на оси прокатки.

Изначально для сравнения выбрано три разных фактора трения при прошивке: 0,9; 1,0 и 1,5. Далее, исходя из полученных результатов, добавлялись промежуточные варианты значений фактора трения (0,95 и 1,2). Для анализа полученные параметры сведены в табл. 3.

Стоит отметить, что заготовка полномасштабной модели очага деформации, использованной для моделирования, имеет более 100 тыс. элементов, что необходимо для получения приемлемой точности расчетов. В связи с этим, расчет одного варианта на компьютере средней мощности может занимать порядка 25 – 60 ч. Поэтому для сокращения временных затрат необходимо правильно задавать исходные условия задачи и иметь данные о предпочтительных значениях параметров, оказывающих значительное влияние на результат.

Как видно, изменение условий трения между рабочим инструментом и заготовкой при моделировании существенно влияет на значение энергосиловых параметров и время прошивки. Наиболее близкие значения момента и мощности прошивки при моделировании и проведении эксперимента получены при факторе трения 0,9. Однако при этом время прошивки при моделировании составило 16,51 с, что на 2,5 с больше. Наиболее близкое время прошивки при моделировании (13 с) и проведении эксперимента в промышленных условиях (14 с) получено при факторе трения 0,95, но в то же время происходит повышение момента на 20,4 кН·м и мощности на 107 кВт. Дальнейшее увеличение фактора трения приводит к росту момента и мощности, а также уменьшению времени прошивки (рис. 7).

Измерения размеров гильз, полученных после моделирования прошивки, показали, что фактор трения не оказывает существенного влияния на геометрические размеры (см. табл. 3). Максимальная разница по наружному диаметру D составила менее 2 мм, а разница по толщине стенки S не более 0,7 мм. Разница в размерах объясняется механизмом перестроения сетки конечных элементов при расчете и может быть снижена при помощи увеличения количества конечных элементов сетки заготовки.

Различие в размерах полученных гильз при проведении пробных прокаток и при моделировании более существенное и составляет по диаметру до 6 мм, по толщине стенки до 2,5 мм. По результатам моделирования гильза после прошивки имеет меньший диаметр и большую толщину стенки. Таким образом, существует разница в условиях радиальной раскатки гильзы на конусе оправки и в выходном конусе вала. Отличия в размерах возможно объяснить различиями в температурных условиях модели и реального процесса. Для сокращения времени расчета при моделировании задано «простое» условие теплообмена между заготовкой и инструментом, т. е. на контакте с инструментом решается упрощенная совместная тепловая задача. При этом

Таблица 3

Результаты измерения параметров процесса прошивки в зависимости от фактора трения (прошивка на оправке диам. 76 мм)

Table 3. Results of measuring the parameters of piercing process depending on the friction factor (piercing on mandrel with diameter of 76 mm)

Фактор трения (по Зибелю)	Момент, кН·м	Мощность, кВт	Размеры гильзы, мм		Время прошивки, с
			D	S	
0,9	126,4	800	176,95	49,72	16,51
0,95	146,8	907	178,11	50,37	13,02
1,0	149,6	940	178,83	50,42	12,58
1,2	164,9	1034	178,18	49,89	10,77
1,5	177	1100	178,89	49,75	10,12

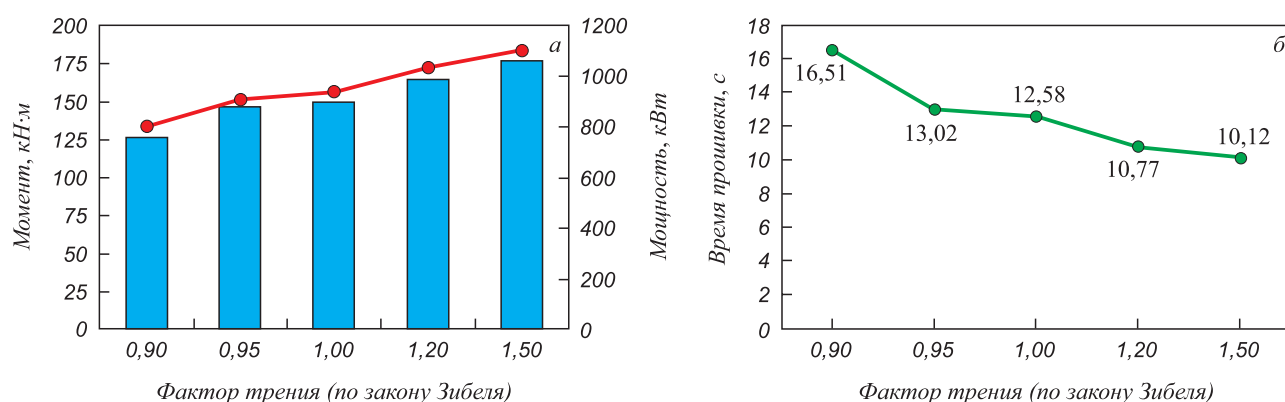


Рис. 7. Зависимость изменения момента (■) и мощности (—) прошивки (а) и времени (—) прошивки (б) от фактора трения

Fig. 7. Dependence of change in torque (■) and power (—) of piercing (a) and piercing time (—) (б) on the friction factor

изменение температуры инструмента рассчитывается только на контактирующей с заготовкой поверхности.

После завершения моделирования процесса прошивки полученная гильза импортировалась в следующую операцию для моделирования раскатки на оправке диам. 162 мм. При этом температурное поле гильзы не сохранялось; начальная температура нагрева была задана равной 1180 °С, что соответствует условиям эксперимента в промышленных условиях. Результаты полученных параметров представлены в табл. 4.

Как видно, время раскатки, практически совпадающее с реальным процессом, получено при факторе трения 0,8. Однако значения момента и мощности прокатки отказались заниженными в 2 – 2,5 раза относительно экспериментальных данных, полученных на стане. Такие различия, по-видимому, связаны с тем, что размеры

гильзы после прошивки в QFORM меньше расчетных, что привело к уменьшению площади контакта между валком и заготовкой.

При прошивке в один проход на оправке диам. 162 мм значительно возрастает длина очага деформации и сопротивление осевому перемещению заготовки со стороны оправки, поэтому можно предположить, что потребуется более высокий показатель трения для стабильного протекания процесса прошивки. Действительно, во всем диапазоне изменения фактора трения 0,9 – 1,5 при вторичном захвате наблюдалось проскальзывание заготовки и отсутствие осевого перемещения.

При факторе трения 3,0 процесс прошивки протекал стабильно. Полученные значения момента и мощности прошивки (табл. 5) находятся в диапазоне значений, зафиксированных системой мониторинга при опытной

Таблица 4

Результаты измерения параметров процесса раскатки (раскатка на оправке диам. 162 мм)

Table 4. Results of measuring the parameters of rolling-off process (rolling-off on mandrel with diameter of 162 mm)

Фактор трения (по Зибелю)	Момент, кН·м	Мощность, кВт	Размеры гильзы, мм		Время раскатки, с
			<i>D</i>	<i>S</i>	
0,8	60	400	201,5	17	24,9

Таблица 5

Результаты измерения параметров процесса прошивки в зависимости от фактора трения (прошивка на оправке диам. 162 мм)

Table 5. Results of measuring the parameters of piercing process depending on the friction factor (piercing on mandrel with diameter of 162 mm)

Фактор трения (по Зибелю)	Момент, кН·м	Мощность, кВт	Размеры гильзы, мм		Время прошивки, с
			<i>D</i>	<i>S</i>	
2,5	105,7	664	200,2	17,2	21,6 (остановка процесса с 18 с)
3,0	141,7	890	201,6	17,5	19,5

прошивке (см. рис. 5). При этом время прошивки составило примерно 19,5 с, что на 4,5 с меньше, чем в реальном процессе.

Размеры гильзы также незначительно отличаются от полученных в условиях производства: разница в наружном диаметре составила 2 мм, по толщине стенки – 0,7 мм.

Для приближения к реальному процессу по параметру времени прошивки фактор трения был уменьшен до 2,5. Однако в данном случае с момента начала освобождения очага деформации гильза начала вращаться без осевого перемещения вдоль оси прокатки, поэтому дальнейший расчет не продолжался.

Таким образом, при моделировании процесса прошивки в QFORM с увеличением фактора трения возрастают ЭСП и снижается время прокатки. Кроме того, на условия протекания процесса влияет форма рабочего инструмента, в частности, диаметр и форма оправки. В общем случае исходные параметры, такие как параметр трения между инструментом и заготовкой, размер сетки конечных элементов, условия теплообмена не могут быть приняты универсальными для всех вариантов настройки оборудования и должны подбираться, исходя из поставленной задачи.

Выводы

Проведены анализ процесса прошивки и раскатки труб на ТПА 70-270 АО «ВМЗ» и сопоставление полученных результатов с результатами компьютерного моделирования в QFORM.

В производственных условиях получены трубы наружным диам. 183 мм с толщиной стенки 16,5 мм за один проход на оправке диам. 162 мм и за два прохода (прошивка и раскатка) на оправках диам. 76 мм и 162 мм.

Смоделирован процесс прошивки по выбранным параметрам в QFORM 3D. Условия трения между заготовкой и рабочим инструментом оказывают существенное влияние на результаты моделирования. При повышении фактора трения возрастают ЭСП и снижается время прокатки.

Результаты моделирования коррелируются с экспериментальными результатами опытных прокаток. При правильно выбранном значении фактора трения ЭСП, время прокатки и геометрия гильзы могут быть с достаточной точностью спрогнозированы при помощи компьютерного моделирования.

Полученные данные можно использовать для анализа и в инженерных расчетах при проектировании нового рабочего инструмента, выбора деформационных параметров или освоении новых типоразмеров труб.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Romantsev B., Goncharuk A., Aleshchenko A. etc. Development of multipass skew rolling technology for stainless steel and alloy pipes' production // *Int. Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2018. Vol. 97. No. 9 – 12. P. 3223 – 3230.
- Романцев Б.А., Гончарук А.В., Алещенко А.С. и др. Совершенствование режимов горячей прокатки труб на мини ТПА 70-270 // *Металлург*. 2015. № 5. С. 41 – 43.
- Гончарук А.В., Романцев Б.А., Орлов Д.А., Гамин Ю.В. Влияние режимов деформации на точность бесшовных труб // *Технология металлов*. 2020. № 1. С. 50 – 54.
- Гамин Ю.В., Романцев Б.А., Пашков А.Н. и др. Получение полых полуфабрикатов изделий из медных сплавов электротехнического назначения способом винтовой прокатки // *Изв. вуз. Цветная металлургия*. 2020. № 1. С. 27 – 38.
- Deng G.Y., Zhu Q., Tieu K. etc. Evolution of microstructure, temperature and stress in a high speed steel work roll during hot rolling: Experiment and modeling // *Journal of Material Processing Technology*. 2017. Vol. 240. P. 200 – 208.
- Yang J., Li S., Liu J. etc. Finite element analysis of bending behavior and strain heterogeneity in snake rolling of AA7050 plates using a hyperbolic sine-type constitutive law // *Journal of Materials Processing Technology*. 2017. Vol. 240. P. 274 – 283.
- Zhang Z., Liu D., Yang Y. etc. Microstructure evolution of nickel-based superalloy with periodic thermal parameters during rotary tube piercing process // *Int. Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2019. Vol. 104. No. 9 – 12. P. 3991 – 4006.
- Галкин С.П., Романцев Б.А., Та Динь Суан, Гамин Ю.В. Ресурсосберегающая технология производства круглого сортового проката из бывших в употреблении осей подвижного железнодорожного состава // *Черные металлы*. 2018. № 4. С. 20 – 27.
- Toporov V., Bogatov A., Nukhov D. Study of the tubular billets geometric characteristics during computer simulation of the rotary piercing process // *Materials Science Forum*. 2019. Vol. 946. P. 788 – 793.
- Pater Z., Bartnicki J., Kazanecki J. 3D finite elements method (FEM) analysis of basic process parameters in rotary piercing mill // *Metallurgija*. 2012. Vol. 51. No. 4. P. 501 – 504.
- Алещенко А.С., Будников А.С., Харитонов Е.А. Исследование формоизменения металла в процессе редуцирования труб на трехвалковом стане // *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2019. Т. 62. № 10. С. 756 – 762.
- Алещенко А.С., Гамин Ю.В., Чан Б.Х., Цюцюра В.Ю. Особенности износа рабочего инструмента при прошивке жаропрочных сплавов // *Черные металлы*. 2018. № 8. С. 63 – 70.
- Pater Z. FEM analysis of loads and torque in a skew rolling process for producing axisymmetric parts // *Archives of Metallurgy and Materials*. 2017. Vol. 62. No. 1. P. 85 – 90.
- Скрипаленко М.М., Галкин С.П., Хе Чже Сун и др. Прогнозирование вероятного разрушения при радиально-сдвиговой прокатке непрерывнолитых медных заготовок на основе компьютерного моделирования // *Металлург*. 2018. № 9. С. 7 – 12.
- Huo Y., He T., Wang B. etc. Numerical prediction and experimental validation of the microstructure of bearing steel ball formation in warm skew rolling // *Metallurgical and Materials Transactions A*. 2020. Vol. 51. No. 3. P. 1254 – 1263.
- Romantsev B.A., Goncharuk A.V., Zimin V.Y. etc. Introducing seamless-pipe production at OAO Vyskuns'kii metallurgicheskii zavod // *Steel in Translation*. 2009. Vol. 39. No. 9. P. 803 – 805.
- Romantsev B.A. New technology for pipe rolling on mini mills // *Steel in Translation*. 2011. Vol. 41. No. 12. P. 1019 – 1024.
- Романенко В.П., Степанов П.П., Крикович С.М. Производство полых вагонных осей методами винтовой прошивки и радиальнойковки // *Металлург*. 2017. № 10. С. 44 – 48.
- Романенко В.П., Фомин А.В., Севастьянов А.А., Никулин А.Н. Исследование механических свойств железнодорожных колес, полученных из заготовки, проштампованной в стане винтовой прокатки // *Металлург*. 2018. № 6. С. 73 – 77.
- Quantor Form 2019. URL: <https://qform3d.com> (Access date: 09.02.2020).

Поступила в редакцию 26 февраля 2020 г.
После доработки 1 апреля 2020 г.
Принята к публикации 20 сентября 2020 г.

ANALYSIS OF PIPE PIERCING ON PRP 70-270 WITH FEM MODELING

D.A. Orlov^{1,2}, A.V. Goncharuk¹, O.A. Kobelev³, O.G. Komarnitskaya¹, N.S. Bunits¹

¹ National University of Science and Technology “MISIS” (MISIS), Moscow, Russia

² JSC “Vyksa Metallurgical Plant”, Vyksa, Nizhny Novgorod Region, Russia

³ JSC Russian State Research Center “CNIITMASH”, Moscow, Russia

Abstract. The article analyzes the piercing and rolling process of seamless pipes on PRP 70-270 of JSC “VMP” in terms of power parameters, piercing time and geometric sizes of pipes. The research results were compared with the results of computer simulation on software package QFORM 3D. For simulation, the deformation zones were designed for piercing a mold tube with dimensions of 203×16.5 mm in one pass on a mandrel with diameter of 162 mm and in two passes of piercing and rolling-off on mandrels with diameter of 76 and 162 mm, respectively. From the obtained data on the power parameters, it was found that from the point of view of energy consumption, piercing in one pass seems more appropriate. However, when piercing in one pass, wear resistance of the mandrels sharply decreases, since the contact time between the tool and the hot metal increases. This leads to a decrease in quality of the pipes’ inner surface, more frequent replacement of the tool and increased downtime of the equipment. During simulation, the selected parameter of the friction factor has a significant impact on the value of power parameters (torque and power consumption) and piercing time. The dependences of changing power parameters and piercing time on the friction factor during piercing in a two-roll mill with guards are obtained. With increase of the friction factor, piercing time decreases and torque and rolling power increase. The simulation results are correlated with results of experimental rolling. With a correctly chosen value of the friction factor, power parameters and geometry of the mold tube can be quite accurately predicted by computer modeling.

Keywords: piercing, rolling, screw rolling, rolling power, deformation zone, finite elements method (FEM), friction factor.

DOI: 10.17073/0368-0797-2020-10-848-855

REFERENCES

- Romantsev B., Goncharuk A., Aleshchenko A., Gamin Y., Mintakhanov M. Development of multipass skew rolling technology for stainless steel and alloy pipes’ production. *Int. Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2018, vol. 97, no. 9-12, pp. 3223–3230.
- Romantsev B.A., Goncharuk A.V., Aleshchenko A.S., Onuchin A.B., Gamin Y.V. Improving the regimes used for hot-rolling tubes on mini tube-production unit 70–270. *Metallurgist*. 2015, vol. 59, no. 5-6, pp. 386–389.
- Goncharuk A.V., Romantsev B.A., Orlov D.A., Gamin Yu.V. Influence of deformation modes on accuracy of seamless pipes. *Tekhnologiya metallov*. 2020, no. 1, pp. 50–54. (In Russ.).
- Gamin Y.V., Romantsev B.A., Pashkov A.N., Patrino P.V., Bystrov I.A., Fomin A.V., Kadach M.V. Obtaining hollow semifinished products based on copper alloys for electrical purposes by means of screw rolling. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*. 2020, vol. 61, no. 2, pp. 162–171.
- Deng G.Y., Zhu Q., Tieu K. etc. Evolution of microstructure, temperature and stress in a high speed steel work roll during hot rolling: Experiment and modeling. *Journal of Material Processing Technology*. 2017, vol. 240, pp. 200–208.
- Yang J., Li S., Liu J., Li X., Zhang X. Finite element analysis of bending behavior and strain heterogeneity in snake rolling of AA7050 plates using a hyperbolic sine-type constitutive law. *Journal of Material Processing Technology*. 2017, vol. 240, pp. 274–283.
- Zhang, Z., Liu, D., Yang, Y. etc. Microstructure evolution of nickel-based superalloy with periodic thermal parameters during rotary tube piercing process. *Int. Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2019, vol. 104, no. 9-12, pp. 3991–4006.
- Galkin S.P., Romantsev B.A., Ta D.X., Gamin Yu.V. Resource-saving technology for production of round bars from used shaft of rolling railroad stock. *Chernye metally*. 2018, no. 4, pp. 20–27. (In Russ.).
- Toporov V., Bogatov A., Nukhov D. Study of the tubular billets geometric characteristics during computer simulation of the rotary piercing process. *Materials Science Forum*. 2019, vol. 946, pp. 788–793.
- Pater Z., Bartnicki J., Kazanecki J. 3D finite elements method (FEM) analysis of basic process parameters in rotary piercing mill. *Metallurgija*. 2012, vol. 51, no. 4, pp. 501–504.
- Aleshchenko A.S., Budnikov A.S., Kharitonov E.A. Metal forming during pipes reduction on a three-high rolling mill. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2019, vol. 62, no. 10, pp. 756–762. (In Russ.).
- Aleshchenko A.S., Gamin Y.V., Chan B.K., Tsyutsyura V.Y. Wear features of working tools during piercing of high-temperature alloys. *Chernye metally*. 2018, no. 8, pp. 63–70. (In Russ.).
- Pater Z. FEM analysis of loads and torque in a skew rolling process for producing axisymmetric parts. *Archives of Metallurgy and Materials*. 2017, vol. 62, no. 1, pp. 85–90.
- Skipalenko M.M., Galkin S.P., Sung H.J. etc. Prediction of potential fracturing during radial-shear rolling of continuously cast copper billets by means of computer simulation. *Metallurgist*. 2019, vol. 62, no. 9-10, pp. 849–856.
- Huo Y., He T., Wang B. etc. Numerical prediction and experimental validation of the microstructure of bearing steel ball formation in warm skew rolling. *Metallurgical and Materials Transactions A*. 2020, vol. 51, no. 3, pp. 1254–1263.
- Romantsev B.A., Goncharuk A.V., Zimin V.Y., Pakhomov V.P., Aleshchenko A.S., Matyko O.K. Introducing seamless-pipe production at OAO Vyksunskii metallurgicheskii zavod. *Steel in Translation*. 2009, vol. 39, no. 9, pp. 803–805.
- Romantsev B.A. New technology for pipe rolling on mini mills. *Steel in Translation*. 2011, vol. 41, no. 12, pp. 1019–1024.
- Romanenko V.P., Stepanov P.P., Kriskovich S.M. Production of hollow railroad axles by screw piercing and radial forging. *Metallurgist*. 2018, vol. 61, no. 9-10, pp. 873–877.
- Romanenko V.P., Fomin A.V., Sevast’yanov A.A. etc. A Study of the mechanical properties of railroad wheels manufactured from a billet broached in a helical rolling mill. *Metallurgist*. 2018, vol. 62, no. 5-6, pp. 568–573.
- QuantorForm2019. Available at URL: <https://qform3d.com> (Accessed: 09.02.2020).

Information about the authors:

D.A. Orlov, Postgraduate of the Chair “Metal Forming”, Chief Specialist of Seamless Pipe Production Technology
(mr.orlovdmitrii@gmail.com)

A.V. Goncharuk, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair “Metal Forming” (gon@mis.ru)

O.A. Kobelev, Dr. Sci. (Eng.), Chief Specialist of State Corporation “ROSATOM” (oakobelev@cniitmash.com)

O.G. Komarnitskaya, Bachelor of the Chair “Metal Forming” (okomarnitskaia@gmail.com)

N.S. Bunits, Master Student of the Chair “Metal Forming” (1thewall1@gmail.com)

Received February 26, 2020

Revised April 1, 2020

Accepted October 20, 2020