

Обработка металлов давлением. Технологии и машины обработки давлением

УДК 621.774

DOI: 10.14529/met190404

ИЗУЧЕНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТРУБ В УСЛОВИЯХ ТПА-80

И.Н. Черных¹, В.Л. Устьянцев², М.А. Литвинов², И.Н. Кривоногов²

¹ ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (ОАО «РосНИТИ»), г. Челябинск, Россия,

² ПАО «Синарский трубный завод», г. Каменск-Уральский, Россия

Требования современных российских и зарубежных стандартов ужесточаются в части регламентирования допускаемой глубины дефектов на поверхности готовых труб. Наличие несоответствий портит внешний вид продукции, повышает риск возникновения брака при производстве труб, отнесения труб к категории попутной, снижает конкурентное преимущество трубопрокатных агрегатов с непрерывным раскатным станом – производительность процесса. В то же время требования к качеству поверхности исходных горячедеформированных или непрерывнолитых заготовок допускают наличие дефектов на поверхности, обусловленных производством. В связи с этим необходимо изыскание резервов технологии производства труб, направленных на уменьшение глубины этих дефектов. Режимы горячей прокатки бесшовных труб в отдельных станах ТПА могут способствовать появлению дефектов, но также уменьшению глубины дефектов заготовки. В статье приводятся результаты применения комплексного подхода к изучению процессов трансформации дефектов заготовки при прокатке в станах линии ТПА-80. На основе статистического анализа качества труб определены виды дефектов наружной поверхности труб, характерные для данной технологии. Изучены и уточнены причины возникновения дефектов наружной поверхности вида раковина-вдав, плена трубопрокатная, закат. В зависимости от вида дефекта при производственных испытаниях уточнено место их возникновения в линии ТПА. Изучены механизмы формирования данных дефектов из дефектов исходной заготовки. С привлечением методов компьютерного моделирования исследовано влияние технологических параметров прокатки на изменение геометрических характеристик дефектов различной формы и исходной глубины. Редукционный стан не оказывает существенного влияния на уменьшение глубины дефектов. Наибольшим разнообразием настроечных параметров прокатки в линии ТПА-80 обладают прошивной и непрерывный раскатной станы на плавающей оправке. Предложены формулы для расчёта уменьшения глубины дефектов в процессе прокатки в прошивном и непрерывном раскатном станах. Формулы могут быть применены для расчёта допускаемой глубины дефектов на исходной и промежуточных заготовках.

Ключевые слова: прокатка труб, трубопрокатная заготовка, дефекты наружной поверхности, раковина-вдав, плена трубопрокатная, закат, трансформация дефектов.

Бесшовные трубы горячей прокаткой производят из предварительно деформированных и непрерывнолитых заготовок. В зависимости от диаметра, чистоты обработки поверхности допускаемая стандартами глубина дефектов НЛЗ составляет 1,5÷5 мм [1], горячедеформированной – от 1,3÷5,8 мм малого диаметра Ø145 мм [2] до 6,45÷17,2 мм на заготовках Ø430 мм [3].

Качество труб регулируется требованиями-

ми соответствующих стандартов. В новых стандартах устанавливается допустимая глубина дефектов не более 5 % от толщины стенки [4, 5] труб или их наличие не допускается [6]. Наличие дефектов снижает эксплуатационные характеристики труб [7]. Дефектные места должны быть устранены, требуются операции по ремонту труб. Простои при производстве связаны с поиском причины возникновения дефектов в линии ТПА и ее уст-

ранением. Кроме того, продукция с дефектами может быть отнесена к категории попутной или к браку. При массовом производстве труб на современных ТПА [8–11] наличие дефектов приводит к снижению производительности процессов.

Исследования качества труб, прокатанных на ТПА-80, позволили выявить характерные виды дефектов наружной поверхности труб: раковина-вдав (РВ), плена трубопрокатная (ПТ), закат (ЗН). Оперативно определить вид данных дефектов и причину их появления не всегда возможно: вид заготовки влияет на качество готовых труб; дефекты на готовой трубе имеют совпадающие признаки; при прокатке дефекты трансформируются – изменяется их вид и характеристики; требуется уточнение влияния конкретного стана линии ТПА на трансформацию дефектов.

Фактором, определяющим качество готовой трубы, является качество исходной заготовки [12–15]. Прокатка в отдельных станах линии ТПА может способствовать возникновению дефектов [16–18], с другой стороны, способствовать трансформации дефектов предыдущего передела [12, 19, 20].

Приводимая в литературных источниках информация о дефектах, о влиянии технологии прокатки в отдельных станах линии ТПА на их трансформацию не является исчерпывающей, но также требует конкретизации с учётом состава оборудования и режимов прокатки ТПА.

Характеристика дефектов, статистическая обработка данных

Исследование качества поверхности готовых труб ТПА-80 показало, что в большинстве случаев глубина дефектов вида РВ, ПТ, ЗН находится в одном диапазоне значений $0,1 \div 0,32$ мм, отдельные выпадки значений достигали 0,96 мм. Дефекты РВ и ПТ располагаются под разными углами к продольной образующей трубы (рис. 1). В ряде случаев в области РВ наблюдались отслоения металла (рис. 1а). Следовательно, дефекты вида ПТ или ЗН глубиной менее 0,32 мм могут трансформироваться к дефекту вида РВ.

Наибольшая зафиксированная длина дефекта вида ПТ (рис. 1г) составила 80 мм. Дефект располагался вдоль продольной образующей трубы. В источниках [8, 10] дефекты вида ПТ и ЗН имеют совпадающие признаки, их длина не регламентируется.

Обжатие толщины стенки в непрерывном оправочном стане (НС) является одной из причин возникновения дефекта вида ЗН [12, 14]. Полученная статистическая закономерность (рис. 2) не противоречит данному утверждению. Однако с ростом обжатия точность аппроксимации данных снижается, что свидетельствует о влиянии прочих факторов на вероятность возникновения ЗН.

Предположительно, прокатка в редуцирующем стане (РС) (см. рис. 2) может способствовать уменьшению глубины залегания дефектов РВ и ПТ, влиять на количественное соотношение данных дефектов.



Рис. 1. Внешний вид дефектов (масштаб изображений не соблюден): а – РВ с отслоением металла; б – РВ; в – ПТ с углом соединения $\approx 17^\circ$; г – ПТ длиной 80 мм вдоль образующей

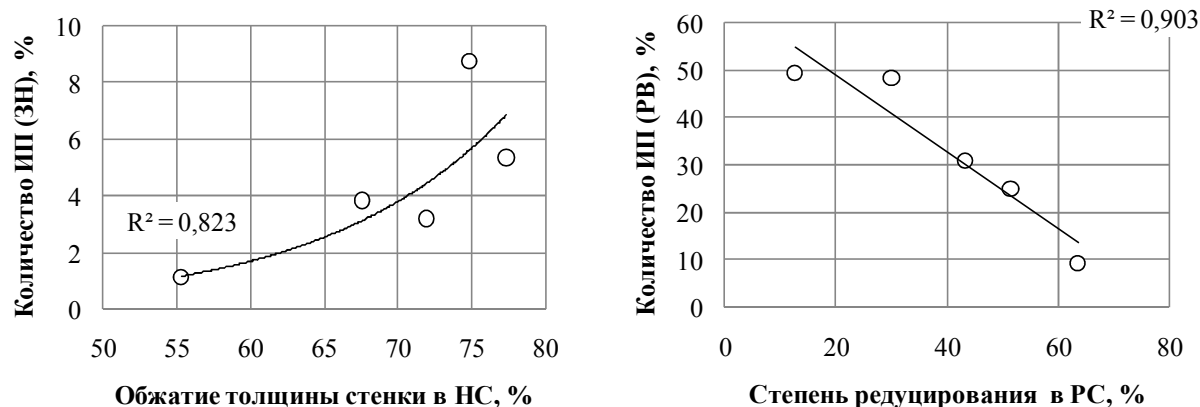


Рис. 2. Изменение количества ИП от технологических факторов прокатки

Исследование трансформации дефектов в производственных условиях

С целью изучения трансформации РВ, ПТ, ЗН из дефектов заготовки в производственных условиях воспользовались методикой исследования [19, 20]. На поверхность заготовки наносились точечные, продольные и поперечные дефекты. Заготовки $\varnothing 156$ мм прокатывались по режимам производства труб $\varnothing 73 \times 5,5$ мм в линии ТПА-80, выводились с линии прокатки после каждого стана –

осуществлялся осмотр и металлографические исследования (рис. 3). Точечные дефекты исчезали с поверхности заготовки уже при прокатке в обжимном стане.

Форма внутренней полости дефектов сформировалась при прокатке в ОС. В дальнейшем полость приобретала пологое расположение, полость поперечных дефектов развивалась в сторону наружной поверхности раската с отрывом от поверхности при редуцировании. На всех этапах производства

Стан линии ТПА-80	Внешний вид дефектов		Внутренняя полость дефектов	
	Продольные дефекты	Поперечные дефекты	Продольные дефекты	Поперечные дефекты
ОС				
ПС				
НС				
РС				

Рис. 3. Внешний вид и форма внутренней полости дефектов по линии ТПА-80: ОС – обжимной; ПС – прошивной; НС – непрерывный; РС – редуцирующий стан

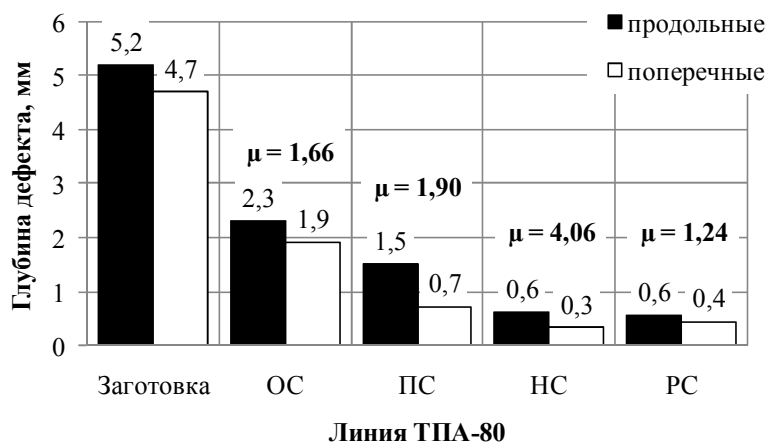


Рис. 4. Глубина дефектов после раскатки в линии ТПА-80

вокруг полости дефектов наблюдалось обезуглероживание, в полости дефектов обнаруживалась окалина и мелкие диффузионные окислы.

В станах винтовой прокатки ОС и ПС линии ТПА-80 реализуется разнонаправленное вращение заготовки. Продольные дефекты (см. рис. 3) скручивались против направления вращения заготовки с образованием видимых отслоений металла при прокатке в ПС. При раскатке в НС стенки полости сжимались, угол дефектов уменьшался с 27,5 до 11° – дефект приобрел признаки вида ЗН [12, 14]. После прокатки в РС угол дефектов не изменился.

Характер расположения поперечных дефектов при винтовой прокатке сохранялся, видимые невооруженным взглядом отслоения металла отсутствовали. При продольной раскатке в НС (см. рис. 3) дефекты приобретали С-образную форму выпуклостью против хода прокатки. По всей видимой части дефекта образовались мелкие разнонаправленные отслоения, соединённые с основным металлом одной стороной. Вследствие характера развития внутренней полости при редуцировании происходил отрыв данных отслоений от поверхности основного металла.

На готовой трубе все дефекты были классифицированы к виду ПТ и РВ. Прокатка в РС повлияла на количественное соотношение дефектов.

Глубина дефектов на готовой трубе составляла $0,4 \div 0,6$ мм – соответствовала глубине дефектов вида ЗН, РВ и ПТ, фиксируемой при производстве труб в линии ТПА-80 (рис. 4). Глубина поперечных дефектов уменьшалась интенсивнее, что соотносится с результатами [19].

С учётом коэффициента вытяжки глубина дефектов интенсивнее уменьшалась в процессе винтовой прокатки. Глубина дефектов при прокатке в РС практически не изменялась.

Компьютерное моделирование трансформации дефектов

Ряд работ показывает, что компьютерное моделирование применимо для анализа изменения геометрических характеристик дефектов [21, 22]. В нашем случае исследования проводились с использованием продукта QFORM 2D/3D×64, предоставленного фирмой ООО «КвантоФорм».

В работе [19] на основании практических исследований и статистической обработки отмечается, что данные об изменении глубины дефектов относятся к одной совокупности. Кроме того, результаты [19] позволяют предположить, что глубина дефектов заготовки одного вида в зависимости от фактического значения в процентном отношении уменьшается одинаково. Следовательно, полученные результаты промышленных исследований могут быть адаптированы для всего сортаментного ряда труб. Однако интенсивность уменьшения дефектов может зависеть от комбинации технологических параметров в отдельных станах линии ТПА.

Толщина стенки готовых труб в линии ТПА-80 определяется соотношением деформаций в прошивном и непрерывном раскатном станах.

Толщина стенки гильзы определяется диаметром оправки $d_{ПС}$ и положением стержня $L_{ПС}$. При компьютерном моделировании величина $d_{ПС}$ равнялась 80, 86, 84 мм, соответственно величине $d_{ПС}$ выбирали значение $L_{ПС}$.

Прочие параметры моделей были идентичны. Для каждого вида дефекта изменение его глубины соответствовало линейной зависимости вида $y = ax + b$, в которой значение аргумента определялось комбинацией

$$x = k_1 d_{ПС} + k_2 L_{ПС},$$

где k_1 и k_2 – коэффициенты, влияющие на точность аппроксимации.

Толщина стенки при прокатке в НС формируется за счёт подбора диаметра оправки.

Исследования проводили моделированием в одной клетке с одинаковой формой калибра и диаметром оправки $\varnothing 81$ мм. Варьирование осуществляли величиной коэффициента вытяжки за счёт сведения и разведения валков. На поверхность гильзы дополнительно были нанесены точечные дефекты глубиной 6, 8 и 10 мм, имитирующие дефект вида РВ. Расположение дефектов в поперечном сечении раската при моделировании показано на рис. 5.

В качестве исследуемых факторов для анализа прокатки в НС были выбраны: коэффициент вытяжки; геометрический фактор – отношение высоты калибра к диаметру оправки $\frac{H}{D}$; фактор неравномерности и истории деформирования – отношение деформации в вершине к деформации в промежуточной зоне

калибра δF . Значение аргумента определялось по формуле

$$x = k_1 \mu + k_2 \frac{H}{D} + k_3 \cdot \delta F.$$

Значения коэффициентов $a, b, k_1 \div k_3$ в уравнениях подобраны таким образом (табл. 1), чтобы критерий аппроксимации $R^2 = 1$.

Таким образом, при компьютерном моделировании определено, что анализ уменьшения глубины дефектов при прокатке в отдельных станах линии ТПА можно вести, опираясь на фактические значения технологических параметров процессов.

Анализ полученных зависимостей показал, что интенсивность уменьшения глубины при прошивке зависит от комбинации параметров $d_{ПС}$ и $L_{ПС}$, характера расположения дефекта. В зависимости от модели ПС глубина дефектов уменьшалась в пределах 70,33÷93,08 %: продольных – 70,33÷93,08 %; наклонённых – 70,92÷83,86 %; поперечных – 84,51÷89,05 %.

Уменьшение глубины дефектов в НС зависит от зоны прокатки в калибре, вида дефектов, исходной глубины. Изменение средней глубины одинаковых дефектов зависит от факторов вытяжки, настроечных параметров отдельной клетки и неравномерности деформации в калибре. Кроме этого, подтверждено

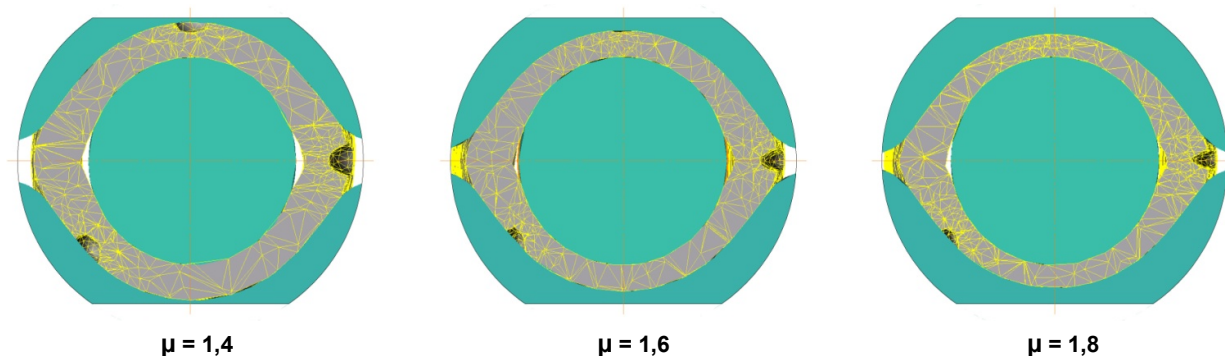


Рис. 5. Трансформация точечных дефектов глубиной 10 мм в клетке НС

Таблица 1

Значения коэффициентов в уравнении при расчёте уменьшения глубины

Вид дефекта	Значения коэффициентов						
	Прошивной стан				Непрерывный стан		
	a	b	k_1	k_2	k_1	k_2	k_3
Продольные	-0,817	432,5	1	0,2	0	1	0,08
Наклонённые	0,292	48,77	0	1	0,5	1	1
Поперечные	0,163	16,64	1	0,2	0,21	1	0,19
Точечные	не исследовались				0,05	1	0,03

Таблица 2

Геометрические характеристики дефектов при моделировании прокатки в НС

Вид дефектов		Продольные				Наклонённые				Поперечные			
Номер клетки		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Глубина, мм	ВР	1,81	1,28	1,15	0,88	2,02	0,92	1,61	0,56	0,09	0,20	0,09	0,28
	ПЗ	2,51	1,37	1,20	0,98	3,48	1,66	1,76	1,11	1,80	0,17	0,34	0,30
	ВП	3,68	1,57	1,12	1,10	3,60	1,83	1,04	1,61	5,45	0,11	0,68	0,11
	средняя	2,67	1,41	1,16	0,99	3,03	1,47	1,47	1,09	2,45	0,16	0,37	0,23
Вид дефектов		Средняя глубина, мм				Угол наклона, град				ВР - вершина калибра;			
Точечные		1,38	0,53	0,37	0,29	—	—	—	—	ПЗ - промежуточная зона;			
Наклоненные		—	—	—	—	29,59	23,85	20,60	15,21	ВП - выпуск калибра			

Таблица 3

Глубина дефектов при моделировании прокатки в РС

Вид дефектов	Номер клетки РС				Исходная глубина	Суммарное увеличение	Максимальное увеличение	Максимальное уменьшение
	1	2	3	4				
Продольные	1,46	1,52	1,47	1,50	1,37	0,13	0,09	0,05
Наклонённые	1,46	1,39	1,46	1,41	1,37	0,05	0,09	0,07
Поперечные	1,54	1,56	1,54	1,48	1,39	0,09	0,16	0,06
Точечные	1,33	1,39	1,37	1,42	1,33	0,10	0,05	0,02

[19], что при одинаковом коэффициенте вытяжки глубина дефектов в процентном отношении изменяется одинаково независимо от их исходной глубины. Глубина точечных дефектов уменьшилась на 33,75; 53,75 и 63,75 % при коэффициенте вытяжки, равном 1,4; 1,6 и 1,8 (см. рис. 5) соответственно.

Станы продольной прокатки НС и РС линии ТПА-80 многоклетевые. Процесс раскатки труб в отдельных клетях данных станов характеризуется собственным коэффициентом вытяжки, геометрическими параметрами калибровки валков. Более того, для каждой последующей клетки неравномерность деформации будет зависеть от формы раската на входе в калибр. Далее (табл. 2 и 3) представлены результаты компьютерного моделирования для 4 клетей непрерывного раскатного и редуцированного станов.

При одинаковом исходном значении уменьшение глубины дефектов (см. табл. 2) при прокатке в НС зависело от зоны калибров, вида и характера расположения дефекта. Наименее интенсивно уменьшалась глубина продольных и наклонённых дефектов, что соответствует результатам промышленных исследований. Угол наклонённых дефектов уменьшился суммарно на 29,8°, при этом угол продольных дефектов не изменился.

Глубина поперечных дефектов в зоне выпуска калибров увеличивалась.

Расчёт по предложенной формуле с учё-

том коэффициентов (см. табл. 1) показал высокую сходимость результатов моделирования процесса прокатки в 1-й и 4-х клетях НС. Критерий R^2 равнялся 1; 1 и 0,942 при расчёте уменьшения средней глубины точечных, продольных и наклонённых дефектов соответственно. Расчёт изменения глубины поперечных дефектов и более точный расчёт для прочих дефектов следует вести для каждой зоны калибра отдельно.

Изменения внешнего вида, угла наклона дефектов при моделировании процесса прокатки в РС не были зафиксированы. Увеличение глубины дефектов, возможно, зависит от количества клетей РС (см. табл. 3): максимальное суммарное увеличение составило 0,13 мм; максимальное разовое увеличение не превысило 0,16 мм.

Полученные результаты для процессов продольной прокатки в НС и РС соотносятся с результатами производственных испытаний.

Выводы

1. Применён комплексный подход к исследованию трансформации дефектов при прокатке труб в линии ТПА-80.

2. Изучен механизм трансформации дефектов в станах линии ТПА-80.

3. С учётом конкретного состава оборудования уточнены причины и место возникновения дефектов наружной поверхности в линии ТПА-80:

– дефекты поверхности заготовки переходят на поверхность готовых труб;

– дефекты вида ПТ возникают при винтовой прокатке заготовок, в том числе трансформируются из дефектов заготовки;

– дефекты вида закат возникают в НС по причине повышенных обжатий толщины стенки, а также могут трансформироваться из дефектов заготовки;

– дефекты вида РВ трансформируются из дефектов вида ПТ или ЗН малой глубины при редуцировании. Дефекты вида РВ могут образовываться в чистовых проходах раскатного стана и в клетях редуционного стана по причинам налипания металла, износа валков, вдавливания окалины и другим.

4. Прокатка в РС не оказывает существенного влияния на изменение геометрических характеристик дефектов, однако механически влияет на количественное соотношение дефектов вида ПН и РВ.

5. Уменьшение глубины дефектов зависит от комбинации технологических параметров прокатки в прошивном и непрерывном раскатном станах. Получены соответствующие зависимости, позволяющие алгоритмизировать расчёт и регламентировать допускаемую глубину дефектов на исходной заготовке, заготовке перед прошивным станом, гильзе перед непрерывным станом, а также в отдельной клетке непрерывного стана.

Литература

1. СТО ТМК 56601056-0008-2006. Заготовка трубная непрерывнолитая круглого сечения для изготовления бесшовных труб. Технические условия. Стандарт организации. – Введ. 2018-08-20. – Челябинск: ОАО «РосНИТИ», 2018. – 29 с.

2. ТУ 0913-180-00186269-2016. Заготовка трубная из легированной и легированной стали. Технические условия. – Введ. 2016-05-31. – Нижний Тагил: ОАО «ЕВРАЗ НТМК», 2016. – 21 с.

3. ТУ 14-104-183-99. Заготовка трубная катаная из легированной стали для насосно-компрессорных и обсадных труб с увеличенным ресурсом эксплуатации. Технические условия. – Введ. 1999-10-01. – Новотроицк: ОАО «НОСТА» (ОХМК), 1999. – 6 с.

4. DIN EN 10216-1:2004. *Nahltlose Stahlrohre für Druckbeanspruchungen. Technische Lieferbedingungen.* – Введ. 2004-07-01. – Normenaus-

schusses Eisen und Stahl (FES), 2004. – 30 S. DOI: 10.31030/2401587

5. ASME SA-106/SA-106-M-2017. *Specification for seamless carbon steel pipe for high-temperature service.* – Введ. 2017-06-30. – ASTM International, 2017. – 12 p.

6. ТУ 14-157-99-2005. Трубы стальные бесшовные обсадные безмуфтовые с резьбовым соединением «ТМК UP ТМК-1». – Введ. 2006-02-01. – Таганрог: ПАО «ТАГМЕТ», 2005. – 25 с.

7. *Establishment of a database and a classification of the defects in the metal of pipes according to their severity / M. Bettayeb, E. Bouali, N. Abdelbaki, M. Gaceb // Procedia Engineering. – 2012. – vol. 42. – P. 607–615. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.07.453*

8. ИТС 27-2017. Производство изделий дальнейшего передела черных металлов. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. – Введ. 2017. – М.: Бюро НДТ, 2017. – 402 с.

9. Jin, R. *Development of MPM Tube Rolling Technology / R. Jin // Baosteel Technology. – 2005. – P. 10–14.*

10. Jin, R. *17 Year's Long History of PQF / R. Jin // Steel Pipe. – 2009. – Vol. 38, no. 1. – P. 36–40.*

11. Cernuschi, E. *FQM TM: Danieli 3-Roll Pass Retained Mandrel Mill for High Quality Seamless Tube Production / E. Cernuschi // Iron and Steel. – 2008. – Vol. 43, no. 12 – P. 92–95.*

12. Дефекты стальных слитков и проката: справ. изд. / В.В. Правосудович, В.П. Сокуренок, В.Н. Данченко и др. – М.: Интермет Инжиниринг, 2006. – 384 с.

13. Овчинников, Д.В. Разработка, исследование и внедрение технологии производства высококачественных насосно-компрессорных труб из непрерывнолитой заготовки: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.05 / Овчинников Дмитрий Владимирович. – Екатеринбург, 2011. – 247 с.

14. СТО ТМК 56601056-0028-2013. Классификатор дефектов горячекатаных труб из непрерывнолитой трубной заготовки. Стандарт организации. – Введ. 2013-02-22. – Челябинск: ОАО «РосНИТИ», 2013. – 166 с.

15. Минаев, А.А. Специфика использования катаной и непрерывнолитой заготовки для производства труб / А.А. Минаев, М. Захур, Ю.В. Коновалов // Производство проката. – М.: Наука и технологии, 2005. – № 4. – С. 29–37.

16. Sheng-Zhi, Li / *Mechanism of internal crack formation of seamless modified 9Cr-1 Mo steel tube rolled by mandrel mill and its application* / Li Sheng-Zhi, Xu Jie, Yin Yuan, Xue Jianguo, Feng Yuan // *Proceedings of Sino-Swedish Structural Materials Symposium*. – 2007. – P. 273–276. DOI: 10.1016/s1006-706x(08)60093-x

17. Чуев, А.А. Пути решения проблем повышения качества поверхности труб, прокатываемых на ТПА-140 с двухклетевым станом продольной прокатки / А.А. Чуев, В.Н. Данченко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – Днепропетровск: НИИ Укрметаллургинформ, 2012. – № 3. – С. 49–53.

18. Видоизменение дефектов горячепрессованных труб при холодной пильгерной прокатке / А.А. Терещенко, О.Ю. Кравченко, А.В. Скрынник, Я.В. Фролов // *Пластическая деформация металлов*. 2014. С. 160–163.

19. Зильберг, Ю.В. Формоизменение поверхностных дефектов заготовки при произ-

водстве труб на ТПА с непрерывным станом / Ю.В. Зильберг, Б.В. Гнездилов // *Сталь*. – М.: Интермет Инжиниринг, 1984. – № 9. – С. 59–61.

20. Богатов, А.А. Винтовая прокатка непрерывнолитых заготовок из конструкционных марок стали: учеб. пособие / А.А. Богатов, Д.А. Павлов, Д.Ш. Нухов. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 164 с.

21. Ержанов, А.С. Оптимизация параметров листовой прокатки низкоуглеродистых сталей на основе обеспечения выкатываемости поверхностных дефектов: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.05 / Ержанов Алмас Сатыбалдыевич. – Термитау, 2016. – 145 с.

22. Моделирование образования дефекта «риска» на внутренней поверхности труб при продольной прокатке / А.А. Богатов, Д.А. Павлов, С.В. Липнягов, В.Н. Суворов // *Производство проката*. – 2012. – № 8. – С. 37–39.

Черных Иван Николаевич, и. о. заведующего лабораторией, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (ОАО «РосНИТИ»), г. Челябинск; Inc-h@mail.ru.

Устьянцев Владимир Леонидович, заместитель начальника ЦЗЛ, ПАО «Синарский трубный завод», г. Каменск-Уральский; UstyancevVL@sintz.ru.

Литвинов Михаил Анатольевич, инженер-технолог 1-й категории, ПАО «Синарский трубный завод», г. Каменск-Уральский; Byrei27@mail.ru.

Кривоногов Игорь Николаевич, инженер-технолог 1-й категории, ПАО «Синарский трубный завод», г. Каменск-Уральский; KrivonogovIN@sintz.ru.

Поступила в редакцию 2 апреля 2019 г.

DOI: 10.14529/met190404

STUDY OF SURFACE DEFECT TRANSFORMATIONS DURING PIPE MANUFACTURING USING PRP-80

I.N. Chernykh¹, Inc-h@mail.ru,
V.L. Ust'yantsev², UstyancevVL@sintz.ru,
M.A. Litvinov², Byrei27@mail.ru,
I.N. Krivonogov², KrivonogovIN@sintz.ru

¹ JSC "Russian Research Institute for the Tube and Pipe Industries" (JSC "RosNITI"), Chelyabinsk, Russian Federation,

² PJSC "Sinarsky Pipe Plant", Kamensk-Ural'skiy, Russian Federation

Requirements of current Russian and foreign standards are becoming stricter in terms of regulating the acceptable depth of the defects located on the surface of rolled pipes. Non-conformities spoil the appearance of products, increase the risk of defects during pipe manufacturing and of pipes becoming byproducts, and degrade the competitive advantage of pipe-rolling plants with a continuous

rolling mill, i.e. process yield. At the same time, quality requirements to the surface of primary hot-worked or continuously cast blanks allow manufacturing-related surface defects. That is why it is necessary to examine the pipe manufacturing technology potential to reduce depth of such defects. Hot rolling modes for seamless pipes in certain PRP mills may contribute both to the defects and to the reduction of depth of blank defects. The article describes results of a complex approach to the study of defect transformation processes of the blanks rolled in ТПА-80 mills. The statistical analysis of pipe quality helped to identify the types of external pipe surface defects typical of this technology. The authors studied and defined more exactly the causes of such external surface defects as pits (dents), pipe-rolling slivers, and folds. Depending on the type of defects, they pinned down the place where they appear in the PRP mill during manufacturing tests. They also studied mechanisms of evolution of these defects from primary blank defects. Using computer-based simulation methods, they also studied the effect of technological rolling parameters on the change in geometry of defects of various shapes and initial depths. Reducing mills do not have any considerable effect on the defect depth reduction. Floating mandrel piercing and continuous rolling mills feature the widest variety of rolling adjustment parameters in ТПА-80. The authors proposed formulas to calculate defect depth reduction during the rolling process in piercing and continuous rolling mills. These formulas may be used to calculate the acceptable depth of primary and intermediate blank defects.

Keywords: pipe rolling, pipe-rolling blank, external surface defects, pit (dent), pipe-rolling sliver, fold, defect transformations.

References

1. *STO TMK 56601056-0008-2006. Zagotovka trubnaya nepreryvnolitaya kruglogo secheniya dlya izgotovleniya besshovnykh trub. Tekhnicheskie usloviya. Standart organizatsii* [Billet pipe continuously cast round cross-section for the manufacture of seamless pipes. Technical conditions organization standard]. Chelyabinsk, OJSC “RosNITP”, 2018, 29 p.
2. *TU 0913-180-00186269-2016. Zagotovka trubnaya iz nelegirovannoi i legirovannoi stali. Tekhnicheskie usloviya* [Billet pipe from unalloyed and alloyed steel. Technical conditions]. Nizhnii Tagil, OJSC “EVRAZ NTMK”, 2016, 21 p.
3. *TU 14-104-183-99. Zagotovka trubnaya katanaya iz legirovannoi stali dlya nasosno-kompresornykh i obsadnykh trub s uvelichennym resursom ekspluatatsii. Tekhnicheskie usloviya* [Alloy steel rolled billet for tubing and casing with increased service life. Technical conditions]. Novotroitsk, OJSC “NOSTA” (OKhMK), 1999, 6 p.
4. DIN EN 10216-1:2004. Nahtlose Stahlrohre für Druckbeanspruchungen – Technische Lieferbedingungen – Teil 1: Rohre aus unlegierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei Raumtemperatur; Deutsche Fassung, 2004, 30 p. DOI: 10.31030/2401587
5. ASME SA-106/SA-106-M-2017. Specification for seamless carbon steel pipe for high-temperature service. ASTM International, 2017, 12 p.
6. *TU 14-157-99-2005. Truby stal'nye besshovnye obsadnye bezmuftovye s rez'bovym soedineniem “TMK UP TMK-1”* [Seamless casing steel pipes without coupling with threaded connection “TMK UP TMK-1”]. Taganrog, PJSC “TAGMET”, 2005, 25 p.
7. Bettayeb M., Bouali E., Abdelbaki N., Gaceb M. Establishment of a database and a classification of the defects in the metal of pipes according to their severity. *Procedia Engineering*, 2012, vol. 42, pp. 607–615. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.07.453
8. *ITS 27-2017. Proizvodstvo izdelii dal'neishego peredela chernykh metallov. Informatsionno-tekhnicheskii spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam* [Production of further redistribution of ferrous metals. Information Technology Guide on Best Available Technologies]. Moscow, Byuro NDT Publ., 2017, 402 p.
9. Jin R. Development of MPM Tube Rolling Technology. *Baosteel Technology*, 2005, p. 10–14.
10. Jin R. 17 Year's Long History of PQF. *Steel Pipe*, 2009, vol. 38, no. 1, pp. 36–40.
11. Cernuschi E. FQM TM: Danieli 3-Roll Pass Retained Mandrel Mill for High Quality Seamless Tube Production. *Iron and Steel*, 2008, vol. 43, no. 12, pp. 92–95.
12. Pravosudovich V.V., Sokurenko V.P., Danchenko V.N. *Defekty stal'nykh slitkov i prokata: spravochnoe izdanie* [Defects of Steel Ingot and Rolled: Reference Edition]. Moscow, Internet Inzhiniring Publ., 2006, 384 p.

13. Ovchinnikov D.V. *Razrabotka, issledovaniye i vnedreniye tekhnologii proizvodstva vysokokachestvennykh nasosno-kompressornykh trub iz nepreryvnolitoi zagotovki: dis. kand. tekhn. nauk* [Development, research and implementation of a technology for the production of high-quality tubing from a continuously cast billet. Cand. sci. diss.]. Ekaterinburg, 2011, 247 p.

14. STO TMK 56601056-0028-2013. *Klassifikator defektov goryachekatanykh trub iz nepreryvnolitoi trubnoi zagotovki. Standart organizatsii* [Classifier of defects of hot rolled pipes from continuously cast pipe billet. Organization standard]. Chelyabinsk, OJSC "RosNITP", 2013, 166 p.

15. Minaev A.A., Zakhur M., Konovalov Yu.V. [The specifics of the use of rolled and continuously cast billets for pipe production]. *Proizvodstvo prokata*. Moscow, Nauka i tekhnologii Publ., 2005, no. 4, pp. 29–37. (in Russ.)

16. Li Sheng-Zhi, Xu Jie, Yin Yuan, Xue Jian-Guo, Feng Yuan. *Mechanism of internal crack formation of seamless modified 9Cr-1 Mo steel tube rolled by mandrel mill and its application. Proceedings of Sino-Swedish Structural Materials Symposium*, 2007, pp. 273–276. DOI: 10.1016/s1006-706x(08)60093-x

17. Chuev A.A., Danchenko V.N. [Ways to solve the problems of improving the surface quality of pipes rolled on PRP-140 with a two-stand longitudinal rolling mill]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. Dnepropetrovsk, NII Ukrmetallurginform Publ., 2012, no. 3, pp. 49–53. (in Russ.)

18. Tereshchenko A.A., Kravchenko O.Yu., Skrynnik A.V., Frolov Ya.V. [Modification of defects of hot-pressed pipes during cold pilger rolling]. *Plasticheskaya deformatsiya metallov*, 2014, pp. 160–163. (in Russ.)

19. Zil'berg Yu.V., Gnezdilov B.V. [Shaping of surface defects of a workpiece in the production of pipes at PRP with mandrel mill]. *Stal'*. Moscow, Intermet Inzhiniring Publ., 1984, no. 9, pp. 59–61. (in Russ.)

20. Bogatov A.A., Pavlov D.A., Nukhov D.Sh. *Vintovaya prokatka nepreryvnolitykh zagotovok iz konstruktсионnykh marok stali* [Screw rolling of continuously cast billets from structural steel grades]. Ekaterinburg, Ural University Publ., 2017, 164 p.

21. Erzhанov, A.S. *Optimizatsiya parametrov listovoy prokatki nizkouglerodistykh staley na osnove obespecheniya vykatyvayemosti poverkhnostnykh defektov: dis. kand. tekhn. nauk* [Optimization of the parameters of sheet rolling of low-carbon steels based on ensuring the rolling out of surface defects. Cand. sci. diss.]. Termitau, 2016, 145 p.

22. Bogatov A.A., Pavlov D.A., Lipnyagov S.V., Suvorov V.N. [Modeling the formation of a "groove" defect on the inner surface of pipes during longitudinal rolling]. *Proizvodstvo prokata*, 2012, no. 8, pp. 37–39. (in Russ.)

Received 2 April 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Изучение трансформации дефектов поверхности при производстве труб в условиях ТПА-80 / И.Н. Черных, В.Л. Устьянцев, М.А. Литвинов, И.Н. Кривоногов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2019. – Т. 19, № 4. – С. 27–36. DOI: 10.14529/met190404

FOR CITATION

Chernykh I.N., Ust'yantsev V.L., Litvinov M.A., Krivonogov I.N. Study of Surface Defect Transformations during Pipe Manufacturing Using PRP-80. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2019, vol. 19, no. 4, pp. 27–36. (in Russ.) DOI: 10.14529/met190404