

поверхнею / Л. В. Демчук, В. А. Рогачов, О. М. Терех, О. И. Руденко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 5/8 (53). – С. 26–29.

3. Патент на изобретение РФ 2152837. Способ изготовления труб с винтовыми гофрами и устройство для его осуществления; В21D 15/04 / В. Б. Соколов, А. Н. Шляхин, И. Н. Лыткин, А. А. Мишулин, Н. Н. Грунин. – № 99112837/02; Заявл. 15.06.1999; Опубл. 20.07.2000, Бюл. № 20. – 2 с.

4. Маковей В. О. Особливості профілювання одно та трьохзахідних гвинтоподібних труб / В. О. Маковей, П. Ю. Проценко // Вестник

Национального технического университета «ХПИ». – 2013. – С. 153–162.

5. Маковей В. А. Исследование локального деформирования трубы при профилировании винтовых канавок / В. А. Маковей, П. Ю. Проценко // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – 2011. – № 46. – С. 107–115.

6. Марьин С. Б. Изготовление элементов трубопроводов из трубчатых заготовок с применением эластичных и сыпучих сред / С. Б. Марьин // Кузнечно-штамповочное производство. – 2009. – № 10. – С. 24–28.

Поступила 11.12.2015



К 125-летию Нижнеднепровского трубопрокатного завода

УДК 621.774.36

Производство

Б. Г. Павловский /к. т. н./, С. Л. Стасевский,
Ю. Д. Угрюмов /к. т. н./
ГП «Укрگیпромез»

А. Ф. Гринев /к. т. н./
ООО «НИИ «Укрметаллургинформ»

Определение технологической обрезки на пилигримовых станах и прогнозирование ее уменьшения

Рассмотрены потери металла при производстве труб на пилигримовом агрегате. Разработана методика определения массы технологической обрезки на пильгерстане в затравку и пильгерголовку. Выполнены расчеты потерь металла при прокатке труб из круглой непрерывнолитой заготовки, на основе которых сделан прогноз снижения этих потерь за счет использования новых технических решений. (Ил. 10. Библиогр.: 9 назв.)

Ключевые слова: трубы, пилигримовый стан, технологическая обрезка, прогнозирование.

Metal losses during pipe manufacture at pilger mill have been analyzed. Procedure has been developed to estimate mass of process cropping with dummy bars and pilger heads. Metal losses have been calculated for pipe rolling out of concast rounds. Based on calculations, forecast has been elaborated for reduction of the above losses due to employment of advanced technical solutions.

Key words: pipe, pilger mill technological trimmings, forecasting.

Введение

Технологическая обрезка на прокате включает потери металла в затравку и пильгерголовку; а в отделочной части цеха – потери металла на концевую обрезку холодных труб [1–3].

Вопросу совершенствования использования металла в трубопрокатных цехах Украины посвящена работа, выполненная ГП «НИТИ», «ВНИТИ-ТЕСТ» и ПАО «Интерпайп НТЗ» [4], где рассматриваются основные направления по-

иска резервов снижения потерь металла при горячей прокатке труб, в том числе на ТПА с пилигримовыми станами. При этом основное внимание уделяется анализу технологических отходов. Рассматриваются и мероприятия по снижению потерь производства при прокатке труб в плюсовом поле допуска и отгрузке по теоретической массе. Отмечается, что основным резервом снижения расхода металла является изготовление труб со средней толщиной стенки,

близкой к прокатному номиналу или в поле минусовых допусков, и предлагается целый ряд мероприятий для осуществления такой технологии. В работах [5; 6] рассматриваются вопросы снижения потерь металла на пилигримовых трубопрокатных агрегатах. Особое внимание уделено улучшению качества исходной заготовки, снижению технологических отходов в затравку и пильгерголовку. Вопросам нормирования расхода металла на пилигримовых агрегатах посвящены работы [7] и др. Вместе с тем вопросы увеличения выхода годного при горячей пилигримовой прокатке труб остаются актуальными, так как они непосредственно влияют на конкурентоспособность пилигримового процесса по сравнению с другими процессами.

Потери металла в угар и окалину. В соответствии с действующей технологией и составом оборудования на современном пилигримовом агрегате 5-12" с прошивным прессом и подогревательной печью с шагающими балками планируемые потери на угар и окалину составляют [9]: в кольцевой нагревательной печи КП1 – 1,0 %; в кольцевой подогревательной печи КП3 – 0,6 %; при прокатке на элонгаторе – 0,25 %; при прокатке на пилигримовых станах – 0,6 %; при подогреве труб в печи с шагающими балками – 0,2 %; при прокатке на калибровочном стане и охлаждении – 0,2 %.

Таким образом, суммарные потери металла в угар и окалину на современных ТПА с пильгер-станами составляют 2,85 %. При этом фактические потери составляют 3 % и более.

Потери металла в технологическую обрезь на пилигримовом стане. На рис. 1 приведена прокатанная на пильгерстане «плеть», которая состоит из основной годной части 1, длина которой L_{Γ} является суммой мерных (кратных) частей, затравочного дефектного конца 2, длиной L_3 .

Задний конец 3 раската длиной L_{Π} , удаляемый в обрезь, состоит из цилиндрического участка, собственно пилигримовой головки, и участка с повышенной разностенностью. Фак-

тическая величина потерь металла в затравку и пильгерголовку зависит от размера прокатываемых труб: диаметра и толщины стенки, а относительная величина этих потерь – от длины прокатываемых труб (одно-, двух- или трехкратной длины), причем с увеличением длины трубы относительная величина потерь металла снижается.

В связи с переходом ТПА 5-12" на использование в качестве исходного материала круглой непрерывнолитой заготовки актуальным является вопрос снижения потерь металла в технологическую обрезь: затравку и пильгерголовку. Величина отрезаемого на пильгерстане затравочного конца должна быть минимальной и устанавливается в зависимости от состояния затравочного конца (сильно растрепанный конец, наличие закатов, трещин, плен и повышенной разностенности). Фактически величина обрезки всегда больше и по массе составляет 35–120 кг. Длина удаляемой пильгерголовки L_{Π} устанавливается в пределах от 400 до 500 мм, в зависимости от диаметра валков и при условии качественной обкатки (3-4 удара валков без подачи металла). Недостаточно качественно обкатанные пильгерголовки обрезаются на всю длину «уса». Фактические потери металла в пильгерголовку составляют от 75 до 200 кг.

Рассмотрим определение потерь металла в затравку и пильгерголовку.

Изложение основных результатов исследования

Определение потерь металла в затравку

Параметры затравочного конца трубы. Эскиз затравочного конца трубы приведен на рис. 2. Особенностью затравочного конца является наличие дефектов в виде закатов, трещин, разрывов металла. Количество дефектов увеличивается при увеличении коэффициента вытяжки на пилигримовом стане.

Габаритные размеры затравочного конца 1: наружный диаметр D_3 , длина L_3 и толщина

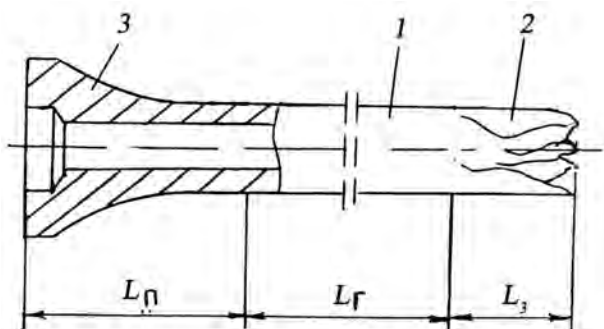


Рис. 1. Прокатанная «плеть» на пилигримовом стане:

1 – основная годная часть; 2 – затравочный (дефектный) конец; 3 – пилигримовая головка

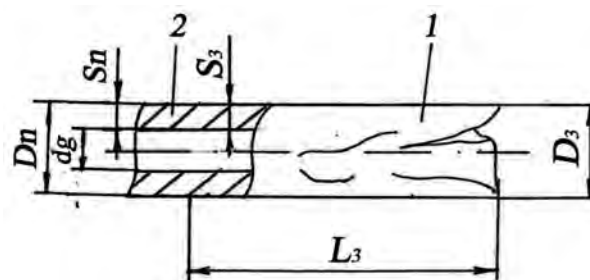


Рис. 2. Передний конец трубы после пилигримовой прокатки:

1 – затравочный (дефектный) конец; 2 – основная часть трубы

ТРУБНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

стенки S_3 , которые влияют на массу затравочного конца трубы, удаляемой в обрезь. Длину L_3 принимаем из практики прокатки труб на конкретном пилигримовом стане с учетом качества исходного металла и технологических параметров: величины вытяжки μ_Σ и подачи m . Наружный диаметр D_3 определяется зависимостью $D_3 = dg + 2S_3$, где S_3 – толщина стенки затравочного конца. Для уменьшения длины L_3 на практике при прокатке тонкостенных труб применяют метод подъема верхнего вала на большую смежную стенку для снижения μ_Σ , что позволяет уменьшить дефектность затравочного конца, с последующей установкой вала в исходное положение. Это приводит к увеличению $S_3 > S_n$ и $D_3 > D_n$. Для расчетов принимаем $S_3 = 9$ мм, если $S_n < 9$ мм.

Последующие толщины стенок $S_n > 9$ мм рассчитываем по известной формуле и округляем вверх до целого значения.

$$S_3 = S_k \cdot \sqrt{\frac{D_n}{D_k}}, \quad (1)$$

где S_k – средняя толщина стенки трубы после калибровочного стана, мм; D_k – средний наружный диаметр трубы после калибровочного стана, мм; D_n – средний наружный диаметр трубы после пилигримового стана.

Масса затравочного конца трубы. Массу 1 погонного метра затравочного конца $G_{T_3}^n$ определяем из выражения:

$$G_{T_3}^n = \left(\frac{0,02466}{7,85} \right) \times \rho_n \times (D_3 - S_3) \times S_3, \text{ кг/м} \quad (2)$$

где ρ_n – плотность стали при температуре T_3 , г/см³,

Масса G_{T_3} затравочного конца, кг:

$$G_{T_3} = G_{T_3}^n \times L_3 \quad (3)$$

Определение потерь металла в пильгерголовку

Параметры пилигримовой головки. Пилигримовая головка, отделяемая в обрезь, приведена на рис. 3 и состоит из недоката 1, профильной части 2 и участка трубы 3. Недокат 1 имеет параметры: наружный диаметр, равный диаметру гильзы D_r , внутренний диаметр, равный внутреннему диаметру гильзы d_r , и длину l_n , которая изменяется в пределах 10–50 мм и зависит от технологии прокатки, состояния оборудования и квалификации вальцовщика.

Для расчета массы недоката 1 принимается конкретное значение l_n .

Участок трубы 3, обрезаемый вместе с пильгерголовкой, характеризуется повышенной разностенностью, которая возрастает к концу прокатки пилигримовой плети. Параметры это-

го участка: D_n и S_n – наружный диаметр и толщина стенки трубы на пильгерстане, внутренний диаметр равен диаметру дорна dg . Длина участка 3 равна 100–150 мм или конкретная длина с учетом дефектов этого участка трубы. Длина обрезаемой профильной части 2 пильгерголовки равна l_n и определяется с учетом параметров калибровки пилигримовых валков.

Объем недоката V_n определяется из выражения:

$$V_n = \frac{\pi}{4} D_r^2 \times l_n - \frac{\pi}{4} (dg + \Delta)^2 \times l_n = \frac{\pi}{4} l_n [D_r^2 - (dg + \Delta)^2], \quad (4)$$

где Δ – величина зазора между гильзой и дорном, $\Delta = 15$ –25 мм.

Объем участка трубы 3 определяется из выражения:

$$V_T = \frac{\pi}{4} (D_n^2 - dg^2) \times l_T \quad (5)$$

Определение параметров профильной части пильгерголовки. В основу определения профильной части головки положен графоаналитический метод, заключающийся в графическом построении профиля бойка по вершине калибра, катающего радиуса и бочки вала, характеризующих применяемую калибровку пильгервалков, разделение угла бойка на несколько частей радиусами, аналитическое определение точек пересечения радиусов с кривыми вала и построение развертки бойка с определением параметров отдельных частей. Катающий радиус при пилигримовой прокатке изменяется по сложной пространственной кривой ввиду переменной формы профиля ручья в продольном и поперечном сечениях. Ввиду сложности реального процесса пилигримовой прокатки осуществляют замену его прокаткой в калиброванных валках (автоматического стана). Для прокатки в калиброванных валках Я. Л. Ваткин ввел понятие средней скорости как площади эпюры скоростей, деленной на ширину калибра. Этой сред-

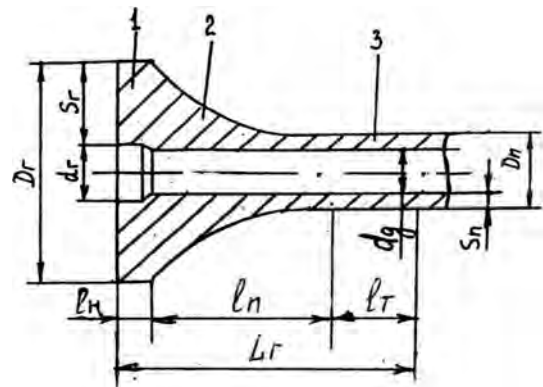


Рис. 3. Пилигримовая головка:

1 – недокат, 2 – профильная часть, 3 – участок трубы

ней скорости соответствует средний радиус вала, который определяется выражением [9]:

$$R_{cp} = R_i - \lambda r_k \quad (6)$$

где R_{cp} – средний радиус вала; R_i – идеальный радиус вала; λ – коэффициент, численно равный косинусу угла отклонения среднего радиуса вала от вертикальной оси калибра [9], r_k – радиус калибра.

Принимаем:

$$R_k \approx R_{cp} = R_i - \lambda \times r_k \quad (7)$$

Для калиброванных валков с прямыми выпуклостями $\lambda \approx 0,75$ [9].

Тогда:

$$R_k = R_i - 0,75 r_k = R_b + \frac{\text{Ш}}{2} - 0,75 r_k \quad (8)$$

где Ш – величина зазора между валками.

Для заданных величин R_b , Ш и r_k можно по формуле (8) определить катающий радиус R_k . Построение профильной части бойка пильгервалка и определение параметров отдельных участков приведено на рис. 4, где угол бойка для удобства принят равным 90° и разделен на 3 части по 30° радиусами Γ и D .

В системе координат ХОУ откладываем по оси ОХ отрезок оа, равный нулевому радиусу бойка по вершине калибра: $oa = R_o$. По оси ОУ откладываем отрезок об, равный радиусу полирующего участка вала по вершине калибра:

$об = R_n$. Соединяем точки а и б прямой линией и делим ее пополам $ав = вб$. Проводим через точку в перпендикуляр к линии аб до пересечения с осью ОУ в т. O_1 . Из т. O_1 радиусом $O_1б$ проводим окружность, которая в границах осей ОХ и ОУ является профилем бойка по вершине калибра. Таким образом, мы заменим профиль бойка по вершине калибра частью окружности с радиусом $O_1б$. Из т. O_1 радиусом $O_1б$ проводим окружность до пересечения с осями координат ОХ и ОУ. Затем из т. О проводим окружность радиусом R_b , равным радиусу бочки вала. Делим угол бойка 90° для упрощения на три равных угла по 30° с помощью радиусов Γ и D . В общем случае число делений угла бойка может быть любым, причем с их увеличением точность определения массы пильгерголки возрастает. Радиусы Γ и D делят профиль бойка на три криволинейные участка. Параметры: первого участка – высота h_1 и h_2 , длина – ln_1 , второго участка – h_2 и h_3 , ln_2 , третьего участка – h_3 и h_4 , ln_3 .

На рис. 5 приведена развертка профильной части пильгерголки на основании деления ее на три части и графического определения всех параметров.

Для эксплуатируемой калибровки пильгервалков на ТПА 5-12" длины участков пильгерголки ln_1 , ln_2 и ln_3 определены графическим способом из рис. 4.

$$ln_1 = 0,499 \times Dr; \quad ln_2 = 0,528 \times Dr; \quad ln_3 = 0,539 \times Dr.$$

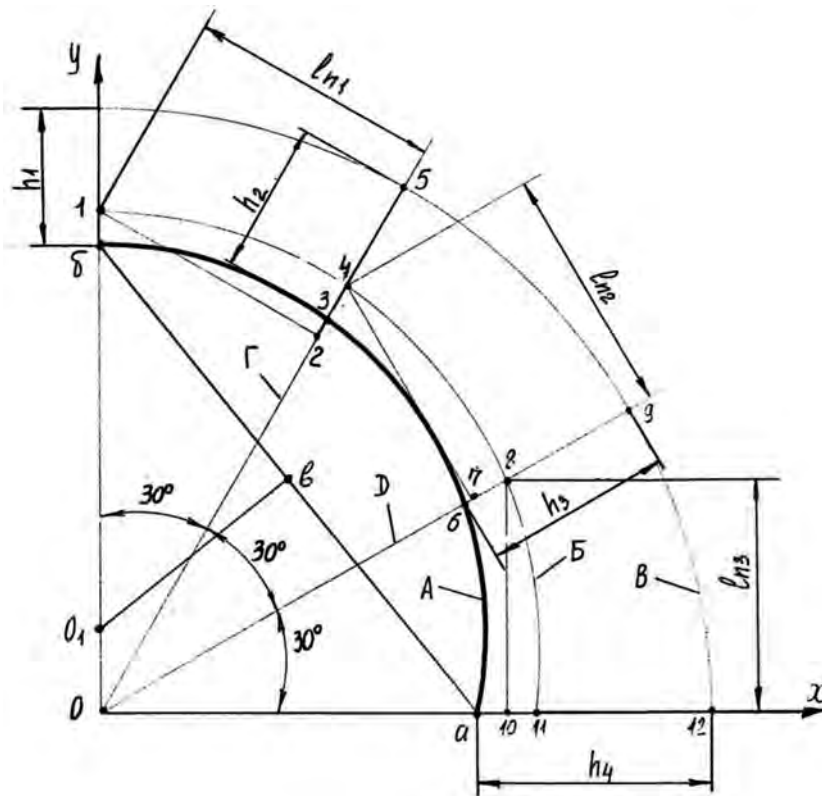


Рис. 4. К определению параметров пильгерголки:

А – профиль бойка по вершине калибра; Б – профиль бойка по катающему радиусу; В – бочка вала; Г и Д – радиусы

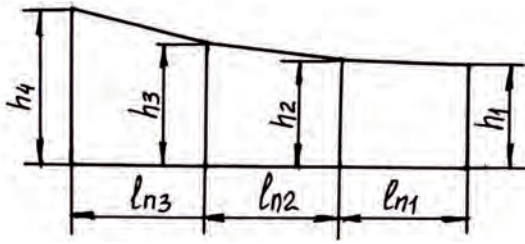


Рис. 5. Развертка профильной части пилигримовой головки

Длина профильной части пильгерголовики $l_n = l_{n1} + l_{n2} + l_{n3}$.

Высоты h_1, h_2, h_3 и h_4 пильгерголовики определяются из рис. 4 или расчетным путем. Длина недоката l_n принимается в расчетах равной 30 мм.

Участок трубы, обрезаемый с пильгерголовицей l_t , принимается в расчетах равным 100 мм.

Объемы участков профильной части пильгерголовики определяем как объемы усеченных конусов без учета объема дорна. В общем виде:

$$V_{ni} = \frac{\pi l_{ni}}{3} (h_i^2 + h_{i+1}^2 + h_i \times h_{i+1}) - \frac{\pi}{4} d g^2 c p \times l_{ni} \quad (9)$$

Объем пильгерголовики $V_{nr}, \text{мм}^3$:

$$V_{nr} = V_n + V_t + V_{n1} + V_{n2} + V_{n3} \quad (10)$$

Масса пильгерголовики, кг:

$$G_{nr} = (\rho_n \times V_{nr}) : 10^6, \quad (11)$$

где ρ_n – плотность стали при температуре $T_{кп}$; $T_{кп}$ – температура конца прокатки на пильгерстане ($T_{кп} = 850 \text{ }^\circ\text{C}$).

Длина обрезаемой пильгерголовики, l_r , м:

$$l_r = (l_n + l_t + l_{n1} + l_{n2} + l_{n3}) : 10^3, \quad (12)$$

где l_n, l_t, l_{n1}, l_{n2} и l_{n3} в мм.

Прогнозирование снижения потерь металла в технологическую обрезь на пилигримовом стане

Основными направлениями снижения потерь металла на пилигримовом стане являются следующие: повышение качества металла гильзы (заготовки); уменьшение овальности и уширения металла при пилигримовой прокатке снижением зазора между гильзой и дорном; уменьшение коэффициента вытяжки при затравке; обеспечение рационального угла кантовки независимого от отката гильзы; прокатка толстостенных труб ($S > 20$ мм) методом стыковки гильз на дорне; предварительное прижатие заднего конца гильзы на дорне; предварительная подготовка переднего конца гильзы путем придания ему конической формы; автоматизация процесса затравки, осуществление полной раскатки цилиндрического участка l_n заднего

конца гильзы, т. е. прокатка пильгерголовики без недоката; применение дорна с коническим хвостовиком под пильгерголовицей; обеспечение осности дорна и гильзы и снижения подачи при окончании прокатки с целью повышения точности заднего конца трубы, что снижает длину участка l_t (рис. 3); предварительная подготовка заднего конца гильзы; осуществление качественной обкатки пильгерголовики (без подачи 3–4 цикла); частичная раскатка пильгерголовики на свободном участке дорна; полная раскатка толстостенных труб на свободном участке дорна; прокатка толстостенных труб методом стыковки гильз на дорне;

Прокатка толстостенных труб ($S \geq 20$ мм) методом стыковки гильз на дорне без затравок и пильгерголовиц используется в настоящее время на пильгерстанах ТПА 5-12» ПАО «Интерпайп НТЗ».

С помощью разработанной деформационной модели горячей пилигримовой прокатки труб на ТПА 5-12» ПАО «Интерпайп НТЗ» из круглой непрерывнолитой заготовки определены потери металла в технологическую обрезь на пильгерстане (затравку и пильгерголовицу) для различного сортамента труб [6].

В значительной степени остаются нерешенными вопросы снижения потерь металла в затравку и пильгерголовицу при прокатке тонкостенных труб ($S \leq 20$ мм). На рис. 6 в качестве примера приведены результаты расчетов массы составных частей пильгерголовики при прокатке труб размером 273×7 мм: масса недоката составляет 10,39 %, масса профильной части головки – 87,16 % и масса «хвоста» – 2,45 %. Как следует из диаграмм на рис. 6, основным резервом уменьшения массы пильгерголовики, является уменьшение массы ее профильной части и недоката.

На относительную величину потерь металла при пилигримовой прокатке влияет число прокатываемых труб в одной клетке.

На рис. 7 приведены диаграммы расчетной технологической обрезки G_o , и ее относительное значение к массе $(G + G_o)$, где G – масса трубы (плети) на пилигримовом стане при прокатке труб размерами 273×7 и 273×18 мм. Прокатка тонкостенных труб 273×7 мм приводит к относительному уменьшению доли обрезки по сравнению с трубами 273×18 мм на 6 %, что объясняется влиянием длины плети или числа кратов труб в плети (труба 273×7 мм – три крата, труба 273×18 мм – один крат).

Таким образом, целесообразно увеличивать длину плети и кратность труб, в то же время однократные трубы с толщиной стенки $S \geq 20$ мм целесообразно прокатывать методом стыковки гильз на дорне.

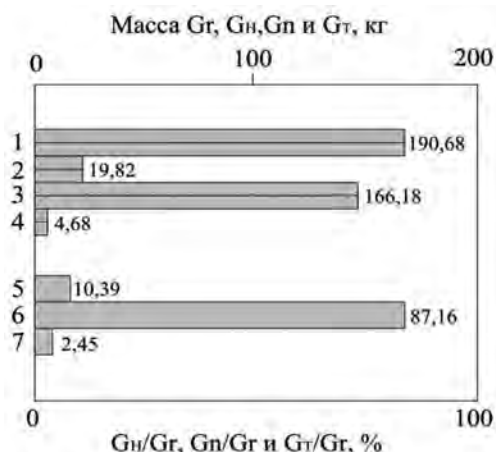


Рис. 6. Расчетные абсолютные (1-4) и относительные (5-7) массы составляющих частей пилигримовых головок (труба 273×7 мм):

1 - Gr, 2 - G_H, 3 - G_h, 4 - G_T, 5 - G_H/G_T × 100, 6 - G_h/Gr × 100, 7 - G_T/Gr × 100

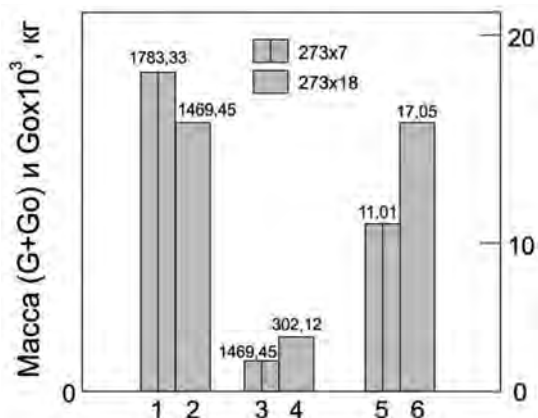


Рис. 7. Расчетные абсолютные (G + G_d) - 1 и 2 и Go - 3 и 4 и относительные Go/G + G_d - 5 и 6 значения массы трубы G и отходов Go на пилигримовом стане при прокатке труб 273×7 мм и 273×18 мм

На рис. 8 приведены диаграммы изменения массы затравки и пильгерголовики в общей технологической обрезки при прокатке труб 273×7 и 273×18 мм, из которых следует, что при прокатке тонкостенных труб (S = 7 мм) доля затравки несколько меньше, а пильгерголовики - больше, чем для более толстостенных труб (S = 18 мм), что можно объяснить следующим. Затравка при прокатке труб со стенкой 7 мм проходит с подъемом верхнего вала, что уменьшает длину и массу обрезки затравочного конца. Масса пильгерголовики при прокатке труб со стенкой S = 18 мм больше, чем для труб со стенкой 7 мм из-за соответствующей толщины стенки трубы на пильгерстане.

Прогнозирование уменьшения длины затравки достаточно затруднительно из-за отсутствия конкретных данных о внедрении мероприятий по ее снижению. Поэтому может быть выполнена экспертная оценка эффективности

технических решений, снижающих длину затравки L₃.

Изменение базовой длины затравки при прокатке труб размер 273×7 мм из гильз размером 428×74 м прогнозируется за счет подготовки переднего конца гильзы длиной ~0,5 ln (ln - длина профильной части пильгерголовики на рис. 3). При этом снижение L₃ составит ln = 0,25 м (рис. 9). Экспертная оценка влияния на уменьшение ln таких мероприятий, как автоматизация процесса затравочного режима, устранение зазора между гильзой и дорном при осуществлении начальной стадии процесса прокатки и независимой от отката кантовки гильзы на угол ~90° показывает, что общее снижение длины затравки при этом составит la = 0,125 м (рис. 9, диаграмма 3). В результате прогноза установлено, что длина затравки может быть уменьшена с 0,5 до 0,125 м или на 75 %. Соответственно масса затравки может быть определена по формуле (3).

При этом впервые прогнозируется уменьшение профильной части пильгерголовики в результате построения ее из отдельных участков ln₁, ln₂, ln₃ и т. д. Для анализа принято разбиение профильной части ln на три участка.

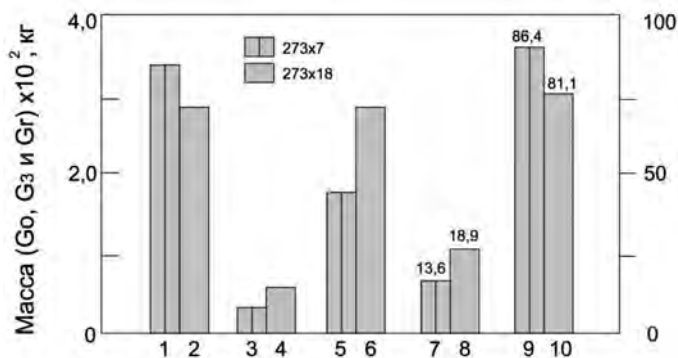


Рис. 8. Расчетные абсолютные значения Go G₃ и Gr - (1-6) и относительные значения G₃/Go и Gr/Go - (7-10) масс отходов Go - (1 и 2), затравки G₃ - (3 и 4) и пильгерголовики Gr - (5 и 6) при прокатке труб 273×7 и 273×18 мм

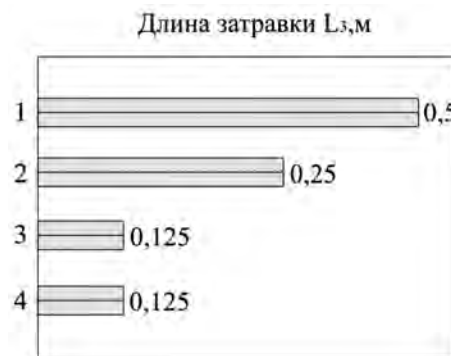


Рис. 9. Прогнозируемое изменение длины затравки L₃:

1 - базовая длина L₃ = 0,5 м; 2 - ln = 0,25 м; 3 - la = 0,125 м; 4 - (L₃ - ln - la)

Изменение базовой длины L_r пильгерголовики при прокатке труб размером 372×7 мм прогнозируется за счет докатки головки без участка недоката l_n (диаграмма 2 на рис. 10), без l_n и l_t (диаграмма 3) без l_n , l_t и l_{n_1} (диаграмма 4) и максимально возможная докатка пильгерголовики, когда $(L_r - l_n - l_t - l_{n_1} - l_{n_2})$ (диаграмма 5). Дальнейшая раскатка пильгерголовики нецелесообразна из-за невозможности снятия трубы с дорна с помощью шибберного устройства. Согласно проведенному анализу максимальное прогнозируемое снижение длины пильгерголовики может составить $\sim 55\%$. Масса пильгерголовики после раскатки отдельных ее частей определяется по формуле (13).

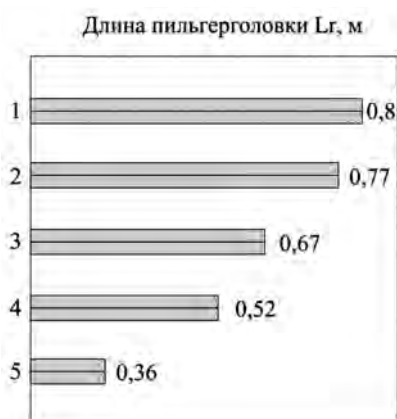


Рис. 10. Прогнозируемое изменение длины L_r пильгерголовики:

- 1 – базовая длина $L_r = 0,8$ м; 2 – $(L_r - l_n)$;
 3 – $(L_r - l_n - l_t)$; 4 – $(L_r - l_n - l_t - l_{n_1})$,
 5 – $(L_r - l_n - l_t - l_{n_1} - l_{n_2})$

Выводы

1. Повышенные потери металла в технологическую обрезь (затравку и пильгерголовику) при горячей пилигримовой прокатке по сравнению с другими процессами существенно ухудшают технико-экономические показатели и снижают конкурентоспособность пилигримового процесса.

2. Определение массы потерь металла в передний затравочный конец трубы целесообразно производить с учетом особенностей затравочного режима при прокатке труб с толщиной стенки $S < 9$ мм и $S > 9$ мм. При этом для прокатки труб с $S < 9$ мм используется технология с подъемом верхнего вала пильгерстана для уменьшения вытяжки.

3. Наиболее правильной в определении массы пильгерголовики является методика П. Т. Емельяненко, согласно которой массу пильгерголовики определяют из трех основных частей: недоката, переменной (профильной) части и участка трубы, примыкающего к профильной части.

4. Для уточнения методики определения объема и массы пильгерголовики разработан графо-

аналитический способ определения геометрических параметров головки с учетом применяемой калибровки пильгервалков.

5. Выполнен прогноз снижения этих потерь за счет предложенных технических решений. Расчеты показали, что длина обрезки затравочного конца при прокатке тонкостенных труб ($S < 20$ мм) может быть снижена на $\approx 75\%$, а длина пильгерголовики уменьшена на $\approx 55\%$.

Библиографический список

1. Емельяненко П. Т. Пильгерстаны / П. Т. Емельяненко. – Харьков: ОНТИ – НКТП, 1937. – 639 с.
2. Производство горячекатаных труб на современных пилигримовых установках / О. А. Пляцковский, П. Е. Осипенко, В. А. Ткаченко и др. – Ростов: Ростовское книжное изд-во, 1971. – 203 с.
3. Ресурсосберегающие технологии при горячей пилигримовой прокатке труб / В. Ф. Балакин, В. В. Перчаник, С. Л. Стасевский, Ю. Д. Угрюмов // Совершенствование производства стали, труб и железнодорожных колес: монография. – Днепропетровск: ЧМП «Экономика», 2015. – С. 231–261.
4. Пути снижения расходных коэффициентов металла при производстве горячедеформированных труб за счет управления точностью прокатки в цехах ОАО «НТЗ» / В. П. Сокурченко, Е. И. Шифрин, А. Ф. Гринев и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2004. – № 5. – С. 55–60.
5. Пути снижения массы пилигримовой головки / В. Ф. Балакин, С. Л. Стасевский, А. А. Ксенз, Ю. Д. Угрюмов, Д. Ю. Гармашев // Совершенствование производства стали, труб и железнодорожных колес: монография. – Днепропетровск: ЧМП «Экономика», 2015. – С. 262–287.
6. Программный комплекс расчета таблицы прокатки труб на ТПА5-12" с пилигримовыми станами / Б. Г. Павловский, С. Л. Стасевский, Ю. Д. Угрюмов, А. Н. Степаненко // Совершенствование производства стали, труб и железнодорожных колес: монография. – Днепропетровск: ЧМП «Экономика», 2015. – С. 400–409.
7. Инструкция по нормированию расхода черных металлов в производстве стальных труб (МЧМ СССР). – Челябинск, 1988. – 120 с.
8. Потери металла из-за окисления при производстве горячекатаных труб на пилигримовых установках / Г. А. Эммануэль, И. И. Губа, В. И. Весна, В. Г. Тур // Сталь. – 1986. – № 12. – С. 95–97.
9. Чекмарев А. П. Основы прокатки труб в круглых калибрах / А. П. Чекмарев, Я. Л. Ваткин. – М.: Металлургиздат. – 222 с.

Поступила 17.02.2016