

Технология Металлов

10.2021

Ежемесячный производственный, научно-технический
и учебно-методический журнал

Издается с июля 1998 г.

Журнал переводится на английский язык и выпускается издательством "Pleiades Publishing, Ltd" в виде приложений к журналу "Russian Metallurgy (Metally)", распространение которого осуществляет издательство "Springer".

Переводная версия журнала входит в международные реферативные базы данных систем цитирования (индексирования): Academic OneFile, Astrophysics Data System (ADS), ChemWeb, El-Compendex, Gale, Google Scholar, INIS Atomindex, INSPEC, OCLC, SCImago, SCOPUS, Summon by Serial Solutions, Web of Science.

Главный редактор журнала

Рудской А.И., академик РАН

Зам. главного редактора

Баурова Н.И., д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь

Юсупов В.С., д-р техн. наук, проф.

Редакционный совет

Баннх О.А., академик РАН
Гречников Ф.В., академик РАН
Леонтьев Л.И., академик РАН
Счастливец В.М., академик РАН
Batako A., д-р фил. (Великобритания)

Дугин А.В., д-р фил. (Германия)
Михайлов С., д-р фил., проф. (Швейцария)
Попов А.В., д-р техн. наук, проф. (Чешская республика)
Storchak M., д-р техн. наук (Германия)

Редакционная коллегия

Алещенко А.С., канд. техн. наук
Баннх И.О., канд. техн. наук
Баскаков В.Д., д-р техн. наук, проф.
Васильев В.А., д-р техн. наук, проф.
Воронцов А.Л., проф., д-р техн. наук
Галиновский А.Л., д-р техн. наук,
д-р пед. наук, проф.
Гугис Н.Н.
Дагман А.И., канд. техн. наук
Зимовец В.Г., канд. техн. наук
Зубков Н.Н., д-р техн. наук, проф.
Ковалевский М.А., канд. экон. наук

Кожевникова И.А., д-р техн. наук
Колбасников Н.Г., д-р техн. наук,
проф.
Колесников А.Г., проф., д-р техн. наук
Колобов А.В., канд. техн. наук
Коновалов С.В., проф., д-р техн. наук
Курганова Ю.А., д-р техн. наук, проф.
Кушнарёв А.В., д-р техн. наук
Лещенко И.А., д-р техн. наук
Логунов А.В., д-р техн. наук, проф.
Лялякин В.П., д-р техн. наук, проф.
Мазур И.П., д-р техн. наук

Матюнин В.М., д-р техн. наук, проф.
Миляев И.М., д-р техн. наук
Мишнев П.А., канд. техн. наук
Нехамин С.М., д-р техн. наук, проф.
Осадчий В.Я., проф., д-р техн. наук
Попович А.А., д-р техн. наук, проф.
Пышминцев И.Ю., д-р техн. наук
Романцев Б.А., проф., д-р техн. наук
Сидельников С.Б., д-р техн. наук
Схиртладзе А.Г., д-р пед. наук, проф.
Шаталов Р.Л., д-р техн. наук, проф.
Шварц Д.Л., канд. техн. наук

Руководители региональных центров

Поволжский региональный центр Тихонов А.К., д-р техн. наук

Челябинский региональный центр Ольховацкий А.К., канд. техн. наук

Белорусский республиканский центр Судник Л.В., д-р техн. наук

За достоверность информации и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели. При использовании материалов журнала в любой форме ссылка на журнал «Технология металлов» обязательна.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

105215, Москва, 9-я Парковая ул., д. 60.

Тел./факс: (499) 988-98-65, тел.: (499) 995-45-22.

<http://www.nait.ru>

e-mail: admin@nait.ru

© ООО «Наука и технологии», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ. ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Пожидаева С.Д., Иванов А.М. Влияние места преимущественного накопления целевого продукта в реакционной смеси на природу и характеристики реализуемого технологического варианта его получения 2

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ, ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ И ДРУГИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

Коберник Н.В., Панкратов А.С., Петрова В.В., Сорокин С.П., Галиновский А.Л., Орлик А.Г., Строителев Д.В. Влияние карбида хрома на структуру наплавленного металла при его введении в состав шихты присадочной порошковой проволоки 12

ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Дегтярева С.П., Прохорова Т.В., Сидохин Е.Ф. Оригинальный способ варьирования пластической деформации в цикле испытаний термической усталости на образцах корсетной формы. 20

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ТЕХНОЛОГИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Косенко Е.А., Демин П.Е. Формирование механических свойств полимерных композиционных материалов с различными типами гибридных матриц 28

НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ

Марков М.А., Геращенко Д.А., Кравченко И.Н., Жуков И.А., Быкова А.Д., Геращенко Е.Ю., Беляков А.Н., Кузнецов Ю.А. Принцип получения алюминиевых функциональных покрытий, армированных керамическими частицами 35

ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ МЕТАЛЛОВ И МАТЕРИАЛОВ

Воронцов А.Л., Карпов С.М. Всестороннее исследование выдавливания П-образных кронштейнов. Сообщение 6. Кинематическое и напряженное состояния заготовки при стесненном выдавливании. Ч. 3. 40

СВАРОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. ПАЙКА

Нафиков М.З., Ахметьянов И.Р., Масягутов Р.Ф., Ахмаров Р.Г., Загиров И.И., Юнусбаев Н.М. Стыковая контактная сварка прутков и стержней 46

ПРОИЗВОДСТВО СПЕЦИАЛЬНЫХ ВИДОВ ПРОКАТА

Дорофеев В.В., Юнин Г.Н., Головатенко А.В., Добрянский А.В., Фастыковский А.Р. Усовершенствование технологии прокатки рельсов в универсальных клетях на современных рельсопрокатных станах. 50

Усовершенствование технологии прокатки рельсов в универсальных клетях на современных рельсопрокатных станах

В.В. ДОРОФЕЕВ¹, д-р техн. наук, Г.Н. ЮНИН², А.В. ГОЛОВАТЕНКО¹, канд техн. наук, А.В. ДОБРЯНСКИЙ^{1*}, А.Р. ФАСТЫКОВСКИЙ³, д-р техн. наук, доцент

¹АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат», г. Новокузнецк, 654043, Российская Федерация

²ООО «ЕвразХолдинг» Дивизион Сибирь, г. Новокузнецк, 654043, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, 654007, Российская Федерация

*E-mail: Andrey.Dobryanskij@evraz.com

DOI: 10.31044/1684-2499-2021-0-10-50-56

Статья поступила в редакцию 01.03.2021

Принята после доработки 28.04.2021

Принята к публикации 02.05.2021

Обсуждается новый способ прокатки рельсов на универсальных рельсобалочных станах, снабженных непрерывно-реверсивной группой клетей. Приведена зависимость для расчета уклонов боковых граней горизонтальных валков универсальных четырехвалковых калибров, в том числе и предчистовом, от величины уклона соответствующих боковых граней горизонтальных валков чистового универсального трехвалкового калибра. Показано влияние нового способа прокатки на качество геометрии профиля, прямолинейность рельсов и выработку горизонтальных валков чистовой универсальной клетки.

Ключевые слова: схема прокатки, вспомогательная двухвалковая клеть, железнодорожные рельсы, рельсопрокатный стан, универсальная клеть, трехклетьева непрерывно-реверсивная группа, универсальный стан-тандем, рельсовые универсальные калибры, дуо-реверсивная клеть.

Тенденцией последних лет в технологии прокатки рельсов с применением универсальных калибров является использование непрерывно-реверсивной группы универсальных клетей для формирования чистового профиля рельсов [1—10].

Прокатка рельсов в универсальных клетях на современных рельсопрокатных станах, оснащенных непрерывно-реверсивными группами клетей, осуществляется разными способами, но с постоянным уклоном внутренних фланцев профиля (боковых граней горизонтальных валков) в универсальных калибрах [11].

При таких условиях прокатки абсолютное обжатие фланцев подошвы профиля вертикальным роликом по высоте в универсальных калибрах осуществляется на одинаковую величину, при этом коэффициент деформации по высоте фланца увеличивается от основания до кромки. Наибольшая величина коэффициента деформации соответствует кромке фланца, которая имеет наименьший размер по толщине. Из-за наименьшего размера по толщине кромка фланца в процессе прокатки быстрее теряет температуру, и при прокатке рельсов в чистовом универсальном калибре разность температур по кромке и основанию подошвы профиля составляет 35–40 °С. Совокупность таких факторов, как наибольший коэффициент деформации кромки фланцев подошвы и наименьшая температура при прокатке этого элемента профиля в процессе формоизменения раската в универсальных калибрах приводит к интенсивной выработке горизонтальных валков в местах, соответствующих формированию кромок фланцев подошвы рельсового профиля, что является основным фактором, определяющим стойкость прокатных валков. При прокатке рельсов в универсальных калибрах наименьшую стойкость имеют горизонтальные валки чистовой универсальной клетки. К вышеперечисленным факторам, увеличивающим выработку валков чистовой универсальной клетки, необходимо также добавить фактор дополнительного обжатия кромки фланца в чистовом калибре, возникающе-

го по причине вынужденного уширения ее в предчистовом вспомогательном двухвалковом калибре при обжатии фланца по высоте.

Вынужденное уширение появляется в результате вертикального обжатия подошвы в двухвалковом вспомогательном калибре при отсутствии контакта раската с боковыми стенками калибра, при этом у вершины фланцев (кромки) образуются местные наплывы металла, что и усугубляет интенсивность выработки валков в местах, соответствующих деформации кромок фланцев подошвы рельсового профиля в универсальных калибрах. Это приводит к искажению формы профиля по длине рельса и образованию поверхностных дефектов на подошве, а также к повышенному расходу прокатных валков.

В отечественной металлургии первый универсальный рельсобалочный стан, имеющий в своем составе непрерывно-реверсивную группу универсальных клетей, введен в эксплуатацию на предприятии АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» (АО «ЕВРАЗ ЗСМК») в 2013 г. При этом была предусмотрена возможность прокатки большого разнообразия профилей. Кроме рельсов стандартного и специального профилей должны выпускаться двутавровые балки, швеллеры, шпунтовые сваи, уголки, сортовой прокат и т.д., тем самым обеспечивается более широкое и полное использование оборудования. Предусматривается внедрение современных конструктивных и технологических разработок, позволяющих удовлетворить высокие требования к размерной точности, прямизне, остаточным напряжениям и механическим свойствам рельсов [12, 13].

Компактная группа клетей в исполнении CCS® (*Compact Cartridge Stands* — компактные кассетные клетки фирмы SMS Meer) с валками и проводками, смонтированными в кассетах, отличается гарантированной и быстрой (в течение 20 мин) переналадкой на другой прокатываемый профиль. Клетки имеют гидронажимное устройство, автоматически устанавливающее валки в исходное положение и учитывающее упругое пружинение клетки. Расстояние между станинами изменяется в соответствии с прокаткой в универсальном или двухвалковом варианте.

На рис. 1 показана схема расположения клетей рельсопрокатного стана и последовательность прокатки рельсов в клетях.

Для более эффективного использования клетей в непрерывно-реверсивной группе, повышения прямолинейности рельсов, точности размеров готового профиля и увеличения стойкости валков универсальных клетей был разработан новый способ прокатки рельсов [14].

Оригинальность разработанного способа по сравнению с применяемым ранее известным способом прокатки рельсов заключается в следующем. Повсеместно применяющийся способ включает прокатку в реверсивных клетях дуо черногового рельсового раската и дальнейшую его прокатку в непрерывно-реверсивной группе клетей, состоящей из двух универсальных четырехвалковых клетей и расположенной между ними вспомогательной клетки дуо, и трехвалковой универсальной чистовой клетки за три прохода, где в первом и втором проходах формирование профиля осу-

ществляется в следующей последовательности: универсальный четырехвалковый калибр—вспомогательный двухвалковый калибр—универсальный четырехвалковый калибр, а в третьем проходе: универсальный четырехвалковый калибр—вспомогательный двухвалковый калибр—чистовой универсальный трехвалковый калибр, где горизонтальные валки универсальных четырехвалковых и чистового трехвалкового калибров выполняются с уклонами к вертикали боковых граней, формирующих внутренние грани фланцев подошвы профиля. В третьем проходе дополнительно осуществляют формирование профиля предчистовым универсальным четырехвалковым калибром по схеме, включающей следующую последовательность: универсальный четырехвалковый калибр—вспомогательный двухвалковый—предчистовой универсальный четырехвалковый калибр—чистовой универсальный трехвалковый калибр. При этом величина уклонов боковых граней горизонтальных валков универсальных четырехвалковых калибров, в том числе и предчистового, составляет 1,14—1,30 величины уклона соответствующих боковых граней горизонтальных валков чистового универсального трехвалкового калибра.

Конструкция универсальных четырехвалковых калибров, в которой горизонтальные валки выполняются с уклонами боковых граней, формирующих внутренние грани фланцев подошвы профиля и составляющих 1,14—1,30 величины уклона боковых граней горизонтальных валков в чистовом универсальном трехвалковом

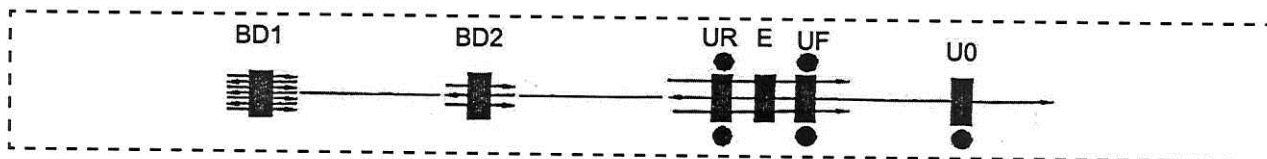


Рис. 1. Схема расположения клетей рельсопрокатного стана

калибре, позволяет осуществлять деформацию фланцев подошвы в чистовом универсальном трехвалковом калибре при значительном уменьшении разницы коэффициентов деформации толщины фланцев по основанию и кромкам, что примерно в 2 раза уменьшает абсолютное обжатие кромок и выработку валков.

Как показала практика использования нового способа прокатки рельсов, выполнение уклонов боковых граней горизонтальных валков для всех универсальных четырехвалковых калибров, в том числе и для предчистового, менее 1,14 величины уклона боковых граней горизонтальных валков чистового универсального трехвалкового калибра недостаточно уменьшает обжатие кромок и, следовательно, выработку валков в чистовом универсальном трехвалковом калибре, а выполнение уклонов боковых граней горизонтальных валков для всех универсальных четырехвалковых калибров, в том числе и для предчистового, более 1,30 величины уклона боковых граней горизонтальных валков чистового универсального трехвалкового калибра приводит к отсутствию обжатия

кромки фланцев подошвы рельса и невыполнению геометрии профиля из-за значительной утяжки металла по кромке со стороны внутренней грани фланца.

На рис. 2 представлена схема прокатки в стане-тандеме и чистовой клетки $U0$ по новому способу. Полученную в дуо-реверсивной клетке $BD2$ исходную рельсовую заготовку (LP) прокатывают в непрерывно-реверсивной группе клеток за три прохода, а окончательное формирование профиля производят в отдельно стоящей чистовой универсальной трехвалковой клетке $U0$. При этом прокатку в непрерывно-реверсивной группе клеток осуществляют по схеме с использованием шести универсальных четырехвалковых калибров, трех вспомогательных двухвалковых калибров и одного чистового универсального трехвалкового калибра.

На рис. 3 представлена схема, связанная с определением величины уклона боковой грани горизонтального валка предчистового универсального четырехвалкового калибра, по которому ведут построение уклонов боковых граней горизонтальных валков для всех универсальных четырехвалковых калибров.

Сплошной линией показан контур чистового универсального трехвалкового рельсового калибра, а штриховой линией — контур задаваемого профиля из предчистового универсального четырехвалкового калибра. Уклоны внутренних граней фланцев головки и подошвы в чистовом универсальном трехвалковом калибре равны соответственно $\tan \beta$ и $\tan \alpha$, а уклоны боковых граней, формирующих внутренние грани фланцев подошвы профиля, горизонтальных валков универсальных четырехвалковых калибров, определяют по соотношению $\tan \gamma = (1,14 - 1,30) \cdot \tan \alpha$.

Расчет формоизменения металла при прокатке в универсальных рельсовых ка-

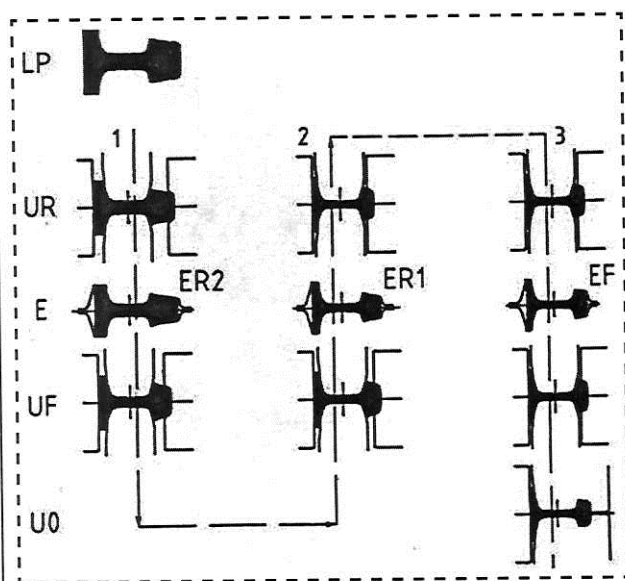


Рис. 2. Схема прокатки рельсов

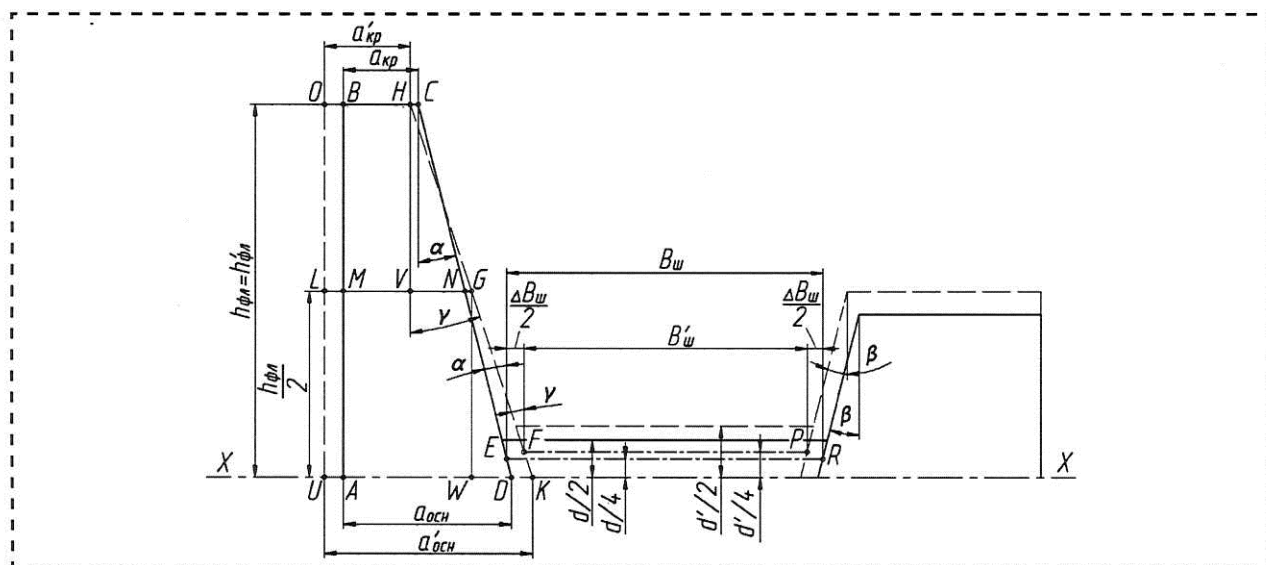


Рис. 3. Схема к определению величины уклона боковой грани горизонтального валка предчистового универсального четырехвалкового калибра

либрах производится по методике в основу, которой положено условие равенства коэффициентов вытяжек шейки, головки и подошвы, что обеспечивает равномерную деформацию по всем элементам профиля. При расчете было принято следующее допущение: приращение фланцев подошвы в чистовом калибре достаточно мало по сравнению с их высотой и им можно пренебречь, следовательно, $h_{\text{фл}} = h'_{\text{фл}}$ [11].

Коэффициент вытяжки шейки в чистовом универсальном трехвалковом калибре рассчитывается по формуле:

$$\lambda_{\text{ш}} = \mu_{\text{ш}} \left(\frac{B_{\text{ш}} - \Delta B_{\text{ш}}}{B_{\text{ш}}} \right),$$

где $\mu_{\text{ш}}$ — коэффициент высотной деформации шейки в чистовом универсальном трехвалковом калибре; $B_{\text{ш}}$ — ширина шейки чистового универсального трехвалкового калибра на расстоянии $\frac{d}{4}$ (d — толщина шейки чистового калибра) от оси калибра, мм; $\Delta B_{\text{ш}}$ — уширение шейки в чистовом универсальном трехвалковом калибре, мм.

Построение линий уклонов внутренних граней фланцев подошвы и головки рельсового профиля относительно вертикальной оси в универсальном предчистовом калибре с целью более точного его конструирования для выполнения условия равенства коэффициентов вытяжек шейки, головки и подошвы при прокатке раската в чистовом калибре производится из точек F и P (см. рис. 3). Данные точки находятся при построении калибра на горизонтальной линии, расположенной на расстоянии $1/4$ толщины шейки предчистового калибра d' от его оси (толщина шейки в предчистовом универсальном калибре рассчитывается из соотношения $d' = d \cdot \mu_{\text{ш}}$) и уменьшенной от ширины шейки чистового калибра $B_{\text{ш}}$ обеих сторон на одинаковую величину, равную половине уширения шейки в чистовом калибре $\left(\frac{\Delta B_{\text{ш}}}{2} \right)$.

Отрезки, соединяющие точки пересечения наклонных линий с осью калибра и горизонтальными линиями, ограничивающими высоту фланцев подошвы и головки предчистового калибра, являются боковыми гранями горизонтальных валков уни-

версального четырехвалкового калибра, формирующего внутренние грани фланцев профиля.

Уклоны боковых граней горизонтальных валков в универсальных предчистовом четырехвалковом и чистовом трехвалковом калибрах, формирующих внутренние грани фланцев головки профиля, принимаются равными уклонам этих элементов в готовом профиле $\tan \beta$.

Уклоны боковых граней горизонтальных валков в универсальном предчистовом четырехвалковом калибре, формирующих внутренние грани фланцев подошвы профиля, принимаются в пределах 1,14—1,30 от величины уклона соответствующих боковых граней горизонтальных валков в чистовом универсальном трехвалковом калибре.

Таким образом, отрезок FP имеет длину, равную $B_{ш} - \Delta B_{ш}$. На расстоянии от оси калибра $X-X$, равном $\frac{d'}{4}$, через точку F проводится линия с уклоном к вертикали, равным $\tan \gamma = (1,14 - 1,30) \cdot \tan \alpha$.

Для определения толщины фланцев подошвы по кромке $a'_{кр}$ основанию $a'_{осн}$ в предчистовом калибре используют геометрические соотношения, приравняв вытяжки по фланцам и шейке раската в чистовом калибре $\lambda_{ш} = \lambda_{фл}$. Таким образом $\lambda_{фл} = \frac{S'_{фл}}{S_{фл}}$, где $S'_{фл}$ — площадь фланца подошвы универсального предчистового четырехвалкового калибра, мм^2 ; $S_{фл}$ — площадь фланца подошвы универсального трехвалкового калибра, мм^2 .

Сечение фланца подошвы профиля представляет трапецию, в этом случае площадь фланца равна $S_{фл} = \frac{(a_{кр} + a_{осн})h_{фл}}{2}$, где $\frac{a_{кр} + a_{осн}}{2}$ — длина линии по середине высоты фланца.

При принятом допущении в расчетах формоизменения металла при прокатке в универсальных рельсовых калибрах, что $h_{фл} = h'_{фл}$, формулу вытяжки фланца можно

записать как: $\lambda_{фл} = \frac{S'_{фл}}{S_{фл}} = \frac{\frac{a'_{кр} + a'_{осн}}{2}}{\frac{a_{кр} + a_{осн}}{2}}$, где

согласно рис. 3, $\frac{a_{кр} + a_{осн}}{2} = MN$,

$\frac{a'_{кр} + a'_{осн}}{2} = LG$. Таким образом, зная вытяжку фланца $\lambda_{фл}$ толщину фланца по середине высоты в чистовом калибре $\frac{a_{кр} + a_{осн}}{2}$, определяется толщина фланца по середине высоты в предчистовом калибре LG .

Размеры по основанию ($a'_{осн}$) кромкам ($a'_{кр}$) предчистовом универсальном четырехвалковом калибре определяются по формулам, полученным из геометрических соотношений согласно рис. 3:

$$a'_{кр} = OH,$$

$$OH = LG - VG,$$

$$VG = \frac{h_{кр}}{2} \cdot \tan \gamma,$$

$$a'_{осн} = UK,$$

$$UK = LG + WK,$$

$$WK = \frac{h_{фл}}{2} \cdot \tan \gamma.$$

Поскольку головка в чистовом универсальном трехвалковом калибре прокатывается в двухвалковой части калибра, то деформация ее рассчитывается по формулам для закрытого фланца [11].

Выводы

Разработан новый способ прокатки рельсов с использованием непрерывно-реверсивной группы клетей и отдельно

стоящей чистовой клетки, включающий процесс трехпроходной прокатки в непрерывно-реверсивной группе клетей, в котором задействовано шесть универсальных четырехвалковых калибров, три вспомогательных двухвалковых калибра и один чистовой универсальный трехвалковый калибр, при уклонах боковых граней горизонтальных валков в универсальных четырехвалковых калибрах, формирующих внутренние грани фланцев подошвы профиля, составляющих 1,14—1,30 величины уклонов соответствующих боковых граней горизонтальных валков в чистовом универсальном трехвалковом калибре, что позволяет обеспечить равномерную загрузку двигателей за счет формирования профиля с уменьшенными усилиями деформации металла в универсальных калибрах, уменьшение выработки горизонтальных валков чистовой универсальной трехвалковой клетки, сократить технологические простои на настройку стана и зачистку прокатных валков, повысить выход годного по профилю и прямолинейности рельсов, снизить расходный коэффициент валков.

Список литературы

1. Свейковски У., Нерзак Т. Производство рельсов высокого качества с использованием компактных универсальных клетей и технологии Rail Cool // *Металлургическое производство и технология (МРТ)*. 2006. № 2. С. 50—56.
2. Shvarts D.L. Rolling of rail profiles in a universal groove. Part 1 // *Steel in Translation*. 2015. V. 45. Iss. 6. P. 430—435.
3. Shvarts D.L. Rolling of rail profiles in a universal groove. Part 2 // *Steel in Translation*. 2015. V. 45. Iss. 7. P. 499—502.
4. Shilov V.A., Shvarts D.L., Skosar' E.O. Aspects of the rolling of long rails on a universal rail-beam mill // *Metallurgist*. 2016. V. 60. Iss. 3. P. 260—266.
5. Shilov V.A., Shvarts D.L., Litvinov R.A. Shaping of metal when rolling rails in universal grooves // *Steel in Translation*. 2008. V. 38. Iss. 3. P. 214—216.
6. Stalinskii D.V., Rudyuk A.S. Production and Quality of Rails // *Steel in Translation*. 2011. V. 41. Iss. 5. P. 73—77.
7. Samoilovich Yu.A. Possibility of producing railway rails with increased strength and minimum buckling // *Metallurgist*. 2012. V. 55. Iss. 11. P. 903—911.
8. Former F.E. Steel Dynamics Commissions Its New Structural and Rail Division // *AISE Steel Technology*. 2002. No 11, 12. P. 27—35.
9. Chen R., Wang P., Wei X. Track-Bridge Longitudinal Interaction of Continuous Welded Rails on Arch Bridge // *Mathematical Problems in Engineering*. 2013. V. 2013. P. 8. DOI: 10.1155/2013/494137.
10. Kozan E., Burdett R. A railway capacity determination model and rail access charging methodologies // *Transportation Planning and Technology*. 2005. V. 28. Iss. 1. P. 27—45.
11. Смирнов В.К., Шилов В.А., Инатович Ю.В. Калибровка прокатных валков. Учебное пособие для вузов. Издание 2-е переработанное и дополненное. М.: Теплотехник, 2008. 490 с.
12. Головатенко А.В., Волков К.В., Александров И.В., Кузнецов Е.П., Дорофеев В.В., Сапелкин О.И. Ввод в эксплуатацию универсального рельсобалочного стана и освоение технологии производства рельсов на современном оборудовании в рельсобалочном цехе ОАО ЕВРАЗ ЗСМК // *Черная металлургия*. 2014. № 6 (1374). С. 32—38.
13. Головатенко А.В., Волков К.В., Дорофеев В.В., Степанов С.В., Добрянский А.В. Развитие технологии прокатки и процессов калибровки железнодорожных рельсов // *Производство проката*. 2014. № 2. С. 25—39.
14. Патент 2710410 РФ, МПК В21 В 1 / 08. Способ прокатки рельсов / Головатенко А.В., Юнин Г.Н., Дорофеев В.В. и др. № 219114014; заявл. 06.05.2019; опубл. 26.12.2019 Бюл. № 36.

ООО «Наука и технологии»

Учредитель журнала ООО «Наука и технологии».

Журнал зарегистрирован в Комитете Российской Федерации по печати.

Свидетельство о регистрации № 017187 от 16 февраля 1998 г.

Редактор Н.К. Трофимова.

Оригинал-макет и электронная версия изготовлены в ООО «Сид».

Сдано в набор 16.07.21. Подписано в печать 24.08.21.

Формат 60×88 1/8. Печать цифровая. Усл. печ. л. 7,82. Уч.-изд. л. ??. Тираж 70 экз. «Свободная цена».

Отпечатано в ООО «Сид».