

K.T.H.

2022 г.



Технология прокатки асимметричных рельсовых профилей, по сравнению с симметричными профилями, гораздо сложнее, особенно при прокатке в предчистовых и чистовых четырехвалковых калибрах станах с группой тандем. Из всех асимметричных рельсовых профилей самым сложным, с точки зрения геометрии поперечного сечения профиля, получаемого в процессе прокатки, является профиль трамвайного рельса. Ввиду сложности профиля результаты исследований по прокатке трамвайных рельсов крайне ограничены, а имеющихся данных недостаточно для разработки ресурсосберегающей технологии прокатки трамвайных рельсов на станах с группой тандем. В связи с этим возникает ряд актуальных задач, решение которых позволит увеличить как теоретическую базу, так и практический опыт применения технологии горячей прокатки трамвайных рельсов на станах с группой тандем.

Научная новизна

Наиболее значимые результаты работы, обладающие научной новизной это:

1. Разработана методика проектирования энерго- и ресурсосберегающей технологии прокатки трамвайных и других рельсов на стане с непрерывной группой клетей – тандем, состоящая: в совершенствовании скоростных условий прокатки в непрерывной группе; определении обжатий (вытяжек) исключающих осевую пористость в черновых клетях и обеспечивающих требуемые размеры фланцев профиля в чистовой группе тандем; проектировании четырехвалковых калибров без осевых нагрузок горизонтальных валков, позволяющих снизить неравномерность напряженно-деформированного состояния металла на основе применения новых методов расчета, режимов и принципов прокатки рельсов.

2. Изучен процесс уширения и утяжки фланцев профиля при прокатке в четырехвалковых калибрах. Установлено, что у подошвы и головки

профиля на контактной поверхности с вертикальными валками склонность к утяжке составляет $0,9 - 0,96$. В центральной точке торцевой поверхности высоты подошвы и по головке на поверхности ее контакта с горизонтальным валком склонность к приращению составляет $1,01 - 1,11$. Разработаны уравнения регрессии для нахождения изменения ширины подошвы и головки профиля в зависимости от диаметра горизонтальных и вертикальных валков, величины обжатия и температуры прокатки. Установлено, что наибольшее влияние на изменение ширины подошвы оказывает величина обжатия горизонтальными валками внутренней части подошвы и обжатие шейки профиля. Применение разработанных уравнений регрессии позволило рассчитать режимы деформации при прокатке в четырехвалковых калибрах, обеспечивающих получение профиля с требуемой геометрией.

3. Для повышения точности расчета силы прокатки сложных профилей разработан 3D-метод нахождения проекции контактной поверхности металла с валками в геометрическом очаге деформации. Предложенный метод реализуется с помощью программ трехмерного твердотельного моделирования в результате чего на поверхностях пересечения 3D-моделей металла и валков обеспечивается построение контактных поверхностей. Данный метод так же позволяет определить форму и рассчитать смещаемые объемы металла по элементам профиля. Разработанный 3D-метод позволил точнее, по сравнению с известными методами, рассчитать проекцию контактной поверхности металла с валками, что позволило на $25 - 30\%$ повысить точность расчета силы прокатки.

4. Для обеспечения эффективного распределения сил в четырехвалковых калибрах разработан новый принцип прокатки. Критерий разработанного положения заключается в том, что силы прокатки, действующие со стороны неприводных вертикальных валков (со стороны головки и подошвы профиля) должны быть равны между собой (в промышленных технологиях допускается их отношение в интервале $0,85 - 1,19$). Предложенный принцип обеспечивается путем подбора величины

обжатия со стороны вертикальных валков при котором отношение смещаемых объемов металла находится в диапазоне 3,22 – 4,44.

5. Изучено напряженно-деформированное состояние металла при прокатке в четырехвалковых калибрах. Установлено, что применение предложенного принципа равенства усилий действующих от обжатия со стороны вертикальных валков в четырехвалковых калибрах обеспечило уменьшение неравномерности напряженно-деформированного состояния металла в 1,5 – 2 раза и повышение величины гидростатического давления в 1,2 – 1,7 раза по сравнению с существующими технологиями. Полученное напряженно-деформированное состояние позволило повысить качество прокатываемого металла на 23,7%.

6. Для обеспечения захвата металла без пробуксовок разработан новый эффективный скоростной режим прокатки в непрерывной группе клеток (группа тандем), суть которого состоит в том, что захват металла во всех клетях группы тандем осуществляется при постоянной угловой скорости вращения горизонтальных приводных валков, далее (после захвата металла во всех клетях) раскат разгоняется до максимальной скорости прокатки. При первом и втором проходах частота вращения горизонтальных валков при захвате металла составляет 0,42 – 0,51, а в третьем 0,6 – 0,7 от максимальной скорости прокатки. Новый режим позволил исключить динамический момент стана при захвате полосы и снизил количество брака.

Значимость результатов для науки и практики

Практическую ценность работы представляют:

1. На основании теоретических и практических исследований, изложенных в диссертации, разработана и внедрена в промышленное производство единственная в России и странах СНГ ресурсосберегающая технология производства трамвайных рельсов на стане с группой тандем в условиях АО «ЕВРАЗ ЗСМК», обеспечивающая: выработку осевой пористости непрерывнолитой заготовки в черновых калибрах, а в готовых

рельсах исключить недопустимый дефект в виде осевой несплошности; уменьшение на 20 – 25 % значения крутящего момента при захвате металла валками; отсутствие динамических ударов при захвате полосы и повышение надежности оборудования главной линии прокатного стана; увеличение производительности прокатного стана на 10 %; повышение стойкость прокатных валков на 17 % и увеличение межремонтного цикла оборудования прокатных клетей на 23 %; уменьшение потребление электроэнергии на 45 кВт·ч/т; повышение стабильности профиля и его качество. Экономический эффект от внедрения предложенных мероприятий составил 82 млн.руб./год;

2. На основании разработанных методов расчета и способов прокатки, опробованных на сложном профиле на трамвайных рельсах, разработана и внедрена на стане с группой тандем в условиях АО «ЕВРАЗ ЗСМК» ресурсосберегающая технология прокатки асимметричных рельсовых профилей таких как острияковые и усовиковые рельсы.

Результаты диссертационной работы прошли широкую апробацию и внедрены в технологический процесс прокатки трамвайных, острияковых и усовиковых рельсов в рельсобалочном цехе на стане с группой тандем АО «ЕВРАЗ ЗСМК».

Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы

Результаты работы могут быть рекомендованы к использованию на металлургических предприятиях для разработки новых ресурсосберегающих технологий производства рельсовых профилей, прокатываемых на станах с группой тандем, а также организации их производства для обеспечения возросшей потребности в трамвайных рельсах высокого качества, в том числе асимметричных рельсовых профилей необходимых для модернизации трамвайных путей.

Основным научным результатом диссертации следует считать разработку теоретических основ прокатки асимметричных рельсовых

профилей на станах с группой тандем в предчистовых и чистовых четырехвалковых калибрах, уравновешенных по силам прокатки в горизонтальной плоскости.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Достоверность результатов исследований С.В.Сметанина подтверждается тем, что в работе использованы современные методы получения, обработки и анализа экспериментальных данных. Положения, выносимые на защиту, обоснованы корректным применением известных научных методов исследования процессов обработки давлением.

Для моделирования пластической деформации металла при прокатке сложных асимметричных рельсовых профилей использован метод конечных элементов, реализованный в программном комплексе DEFORM-3D. Сопоставление результатов сил прокатки, смещаемых объемов металла и требуемых размеров фланцев профиля после натурного эксперимента с значениями, полученными компьютерным моделированием, показало их удовлетворительную сходимость; данные компьютерного моделирования, указывающие, что на выработку осевой пористости в процессе прокатки влияет главным образом величина сжимающих напряжений на поверхности раската, подтверждены результатами натурного эксперимента.

Структура, объем и содержание диссертационной работы.

Представленная диссертация состоит из введения, 4 глав основного текста, основных результатов и выводов, списка сокращений и специальных терминов, списка литературы из 351 наименований и приложения. Общий объем диссертации составляет 333 страницы машинописного текста, которые содержат 113 рисунков и 34 таблицы.

Во введении проведен анализ состояния вопроса, обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы ее цель и научно-технической задачи, представлена научная новизна и практическая

значимость, перечислены методы исследования, теоретическая и практическая значимость, представлены результаты, полученные автором лично и выносимые на защиту, приведены данные об апробации результатов работы и подтверждающие их достоверность.

В первой главе рассмотрено современное состояние теории и технологии прокатки асимметричных рельсовых профилей, представлены этапы развития данной технологии изготовления рельсов. Особое внимание уделено одному из самых сложных, с точки зрения получения готового профиля, процессу прокатки трамвайных рельсов. Установлено, что результаты исследований напряженно-деформированного состояния металла и энергосиловых параметров прокатки трамвайных рельсов на станах с группой тандем отсутствуют.

На основании проведенного анализа сформированы цель диссертационной работы и поставлены задачи, требующие решения.

Во второй главе приведены результаты исследований, полученных с помощью моделирования методом конечных элементов, реализованного в специализированном программном комплексе для обработки металлов давлением (Deform-3D). Проведено исследование распределения полей интенсивности деформаций при прокатке металла в четырехвалковых предчистовых и чистовых калибрах. По итогам проведенного моделирования получены результаты исследований о распределении полей интенсивности напряжений в поперечном сечении раската при прокатке в первом четырехвалковом калибре. Установлено, что характер распределения полей коэффициента ресурса пластичности, в поперечном сечении профиля, зависит от распределения полей интенсивности деформаций и интенсивности напряжений. Проведено компьютерное моделирование по исследованию формы и объемов геометрического очага деформации с оценкой коэффициента эффективности калибров. Предложен метод расчёта проекции контактной площади металла с валком и смещаемого объема металла в геометрическом очаге деформации при прокатке сложных профилей с

использованием системы трехмерного твердотельного моделирования.

В третьей главе приведено описание технологии производства трамвайных рельсов на стане с группой тандем АО «ЕВРАЗ ЗСМК». По итогам всех проведенных промышленных экспериментов на стане с группой тандем, с применением разработанной ресурсосберегающей технологии прокатки трамвайных рельсов, отбирались рельсовые пробы. Установлено, что полученная геометрия профиля, механические и прочностные характеристики трамвайных рельсов соответствуют требованиям ГОСТ, при этом зона с осевой пористостью в готовом профиле отсутствует. Результаты компьютерного моделирования и промышленного эксперимента имеют высокую сходимость, что говорит об адекватности проведенного исследования.

В четвертой главе приведено описание разработанной ресурсосберегающей технологии прокатки трамвайных рельсов, применение которой позволило сократить расход электроэнергии, улучшить качество прокатанной продукции, повысить производительность прокатного стана с группой тандем. По расходу электроэнергии разработанная ресурсосберегающая технология прокатки трамвайных рельсов, в сравнении с прокатными станами, в состав которых входили клетки трио, обеспечила снижение на 55 кВт·ч/т, в сравнении с проектной калибровкой снижение составило 45 кВт·ч/т. Разработанная ресурсосберегающая технология прокатки для асимметричных рельсовых профилей – трамвайных, остряковых и усовиковых рельсов внедрена в производственный процесс на стане с группой тандем АО «ЕВРАЗ ЗСМК».

Соответствие автореферата диссертационной работе

Автореферат в полной мере отражает основное содержание диссертации.

Апробация диссертационной работы и публикации

Исследования автора по теме диссертации были апробированы на научно-технических конференциях международного уровня. Основное содержание диссертации опубликовано в 84 печатных научных статьях, в том числе в 42 статьях в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень рекомендованных Высшей аттестационной комиссией РФ для опубликования результатов докторских и кандидатских диссертаций, в 2 монографиях, 3 патентах на изобретение.

Замечания по диссертационной работе

1. В диссертации на стр. 162 представлены разработанные автором скоростные режимы прокатки в группе тандем, при этом на стр. 71 приведены известные скоростные режимы прокатки в непрерывной группе клетей. Следует указать, в чем состоит основное отличие существующих и предлагаемых скоростных условий прокатки

2. В диссертации на стр. 176 приведено описание технологии производства трамвайных рельсов на рельсобалочном стане с группой тандем, далее по тексту на стр. 182 описана конструкция входящих в его состав универсальных клетей. Известно, что на рельсобалочных прокатных станах предыдущего поколения, в которые входили клетки трио с чистовой клетью дуо, время перевалки на новый профиль составляло 1,5 – 2 часа. Для сравнения технологий необходимо уточнить, сколько времени занимает перевалка клетей прокатного стана с группой тандем, в котором конструкция клетей реализована по принципу «компактные кассетные станины»

3. В диссертации на стр. 217 представлено описание технологии проведения физического моделирования по трансформации осевой пористости, в котором указано, что для проведения промышленных экспериментов выбирались непрерывнолитые заготовки с максимальной осевой пористостью. Для иллюстрации на рис. 3.17 приведены несколько

фотографий возможных поперечных сечений заготовок, в том числе, на рис. 3.17(в) показано сечение заготовки без осевой пористости. Возникает вопрос – возможно следует скорректировать технологию сталеплавильного производства для получения заготовок без осевой пористости, и в этом случае не потребовалось бы проведение исследований по трансформации осевой пористости?

4. В диссертации на стр. 249 приведена информация о горизонтальных валках четырехвалковых калибров по первоначальной (существующей) технологии, в которой отмечается смещение бандажа с оси составных валков. Здесь же на стр. 251 приведена фотография составного валка с выполненными проточками и установленными ограничителями против смещения бандажа. Требуется пояснить, по какой причине происходило смещение бандажа на составных валках и почему установленные ограничители смещения не явились решением в первоначальной (существующей) технологии?

5. Содержание диссертации не дает однозначного ответа на вопрос, каким образом на современном стане с группой тандем реализована функция контроля геометрии профиля поперечного сечения заготовки в процессе прокатки?

Заключение

Вышеуказанные замечания не снижают общей научной и практической значимости диссертационной работы. Предоставленная диссертация соответствует области исследований по паспорту специальности 2.6.4 (05.16.05) – Обработка металлов давлением:

- п.1 «Исследование и расчет деформационных, скоростных, силовых, температурных и других параметров разнообразных процессов обработки металлов, сплавов и композитов давлением»;

- п.2 «Исследование процессов пластической деформации металлов, сплавов и композитов с помощью методов физического и математического моделирования»;

- п.6 «Разработка способов, процессов и технологий для производства металлопродукции, обеспечивающих экологическую безопасность, экономию материальных и энергетических ресурсов, повышающих качество и расширяющих сортамент изделий».

Диссертация прошла проверку на заимствования по системе «Антиплагиат», результаты проверки: 80,01% (без учета самоцитирования). Диссертация Сметанина Сергея Васильевича соответствует требованиям, установленным п. 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842: при использовании заимствованных материалов в диссертации сделаны ссылки на авторов и источники заимствованных материалов, в том числе на научные работы, выполненные С.В. Сметаниным лично или в соавторстве.

Таким образом, диссертация Сметанина Сергея Васильевича является научно-квалификационной работой, обладающей внутренним единством, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения, направленные на разработку и внедрение энерго- и ресурсосберегающей технологии прокатки асимметричных рельсовых профилей на станах с группой тандем за счет учёта разработки теоретических основ горячей прокатки асимметричных рельсовых профилей на станах с группой тандем в предчистовых и чистовых четырехвалковых калибрах уравновешенных по силам прокатки в горизонтальной плоскости; разработки метода определения контактной поверхности металла с прокатными валками в геометрическом очаге деформации для двух-, трех- и четырехвалковых калибров; разработки и промышленном освоении эффективных скоростных режимов прокатки трамвайных рельсов в непрерывной реверсивной группе клеток с учетом действующих крутящих моментов, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктор наук, а

ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени по специальности 2.6.4 (05.16.05) – Обработка металлов давлением.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии» факультета машиностроения Московского политехнического университета; протокол № 3 от «26» октября 2022 года.

Отзыв составил:

Доцент кафедры «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии»

кандидат технических наук, доцент

тел. +7 (495) 223-05-23 доб. 2344

эл. почта: p.a.petrov@mospolytech.ru



Петров Павел Александрович

Заведующий кафедрой «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии», кандидат технических наук

тел. +7 (495) 223-05-23 доб. 2344

эл. почта: d.a.gnevashev@mospolytech.ru



Гневашев Денис Александрович

Данные о ведущей организации: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет» (Московский политехнический университет) 107023, г.Москва, ул. Б. Семеновская, д.38

тел. +7 (495) 223-05-23, эл. почта: mospolytech@mospolytech.ru

Петрова Л.А.
подпись Гневашева Д.А. заверяю

Ведущий документовед
Е.В.Алексеева



11. 11. 2022