

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Шварца Данила Леонидовича
«Разработка теоретических основ и обоснование основных
технологических решений процесса прокатки железнодорожных
рельсов на универсальных рельсобалочных станах»,
представленную на соискание ученой степени
доктора технических наук по специальности
05.16.05 – Обработка металлов давлением

1. Актуальность темы диссертационного исследования

В Российской Федерации сеть путей железнодорожного сообщения является одной из наиболее протяженных в мире и составляет свыше 120 тыс. км, что обуславливает ее стратегическое значение для жизнедеятельности государства. Учитывая, что до 70% затрат на материалы и обслуживание верхнего строения пути приходится на рельсы, особенно актуальным являются вопросы повышения качества железнодорожных рельсов и увеличения межремонтных сроков их эксплуатации, а также соответствие их современным требованиям, предъявляемым к рельсам в связи с развитием высокоскоростного пассажирского и тяжеловесного грузового движения.

До недавнего времени металлургические предприятия России и стран СНГ не имели технической возможности производить рельсы, отвечающие требованиям современных железных дорог, а их качество значительно уступало лучшим зарубежным аналогам (рельсам японских, французских, австрийских производителей). Проведенная в последние годы коренная реконструкция рельсового производства в АО «ЕВРАЗ ЗСМК», г. Новокузнецк и введение в эксплуатацию новых рельсобалочных цехов в ПАО «Мечел», г. Челябинск и ТОО «Актюбинский рельсобалочный завод» в Республике Казахстан, г. Актобе, с установкой на этих предприятиях современных рельсопрокатных станков с ультрагибкой реверсивной группой клетей состоящей из универсальных клетей последнего поколения (стан-тандем) вызвало необходимость перехода от обычной двухвалковой калибровки к самой современной универсальной калибровке прокатных валков. Поэтому **актуальность** представленной работы очевидна. Проведение исследований, направленных на создание научных основ, разработка и научное обоснование основных технологических решений процесса прокатки железнодорожных рельсов на современных универсальных рельсобалочных станах вносит значительный вклад в ускорение научно-технического прогресса и имеет важное народнохозяйственное значение.

2. Научная новизна результатов исследований, изложенных в диссертационной работе заключается в том, что:

- впервые для теоретического исследования формоизменения и энергосиловых параметров при прокатке рельсового профиля в универсальном четырехвалковом калибре разработана математическая модель процесса равномерной деформации элементов рельсового профиля в универсальном калибре.

- установлены закономерности формоизменения металла и силовых воздействий при равномерной деформации профиля рельсового раската в универсальном четырехвалковом калибре, определены основные факторы, влияющие на их величину. Установленные закономерности описаны инженерными формулами и являются основой для разработки научно обоснованной методики расчета рациональных режимов обжатий, скоростных и энергосиловых параметров прокатки железнодорожных рельсов на современных универсальных рельсобалочных станах.

- выполнено теоретическое исследование условий входа раската в калибр, по результатам которого сформулированы математически условия захвата рельсового раската валками универсальной клетки.

- разработана методика моделирования температурного и напряженного состояния при прокатке длинномерных рельсов и математическая модель расчета температуры элементов рельсового профиля по длине чистового раската. Определены закономерности изменения температуры металла и интенсивности напряжений по длине и элементам прокатываемого рельса.

- разработан научно обоснованный метод расчета формоизменения металла при прокатке рельсов в рельсовых калибрах и разработана методика расчета энергосиловых параметров прокатки рельсов в универсальных четырехвалковых калибрах.

3. Степень обоснованности и достоверности результатов и выводов, подтверждаются: использованием высокого по точности математического моделирования с опорой на современные достижения теории прокатки, методов статистической обработки результатов; адекватностью разработанных математических моделей; применением широко распространенных и апробированных методов теоретического исследования формоизменения металла и энергосиловых параметров процессов прокатки; сопоставлением полученных результатов с данными других исследований; высокой эффективностью предложенных технических и технологических решений, подтвержденной результатами промышленных испытаний.

4. Практическая значимость диссертационной работы.

Практическая ценность диссертационного исследования определяется следующими результатами:

- разработанная методика проектирования калибровок валков и технологических режимов при прокатке железнодорожных рельсов в

универсальных калибрах позволяет обеспечить равномерную деформацию прокатываемого профиля и высокое качество рельсов.

- разработанный алгоритм расчета калибровок валков для современного универсального рельсобалочного стана включает определение рационального скоростного режима прокатки в непрерывно-реверсивных группах клетей, температурного режима, расчет энергосиловых параметров прокатки с проверкой ограничений режимов деформации.

- математическая модель расчета температуры элементов рельсового профиля по длине чистового раската позволяет оперативно рассчитывать температуру любого элемента по длине и оперативно управлять настройкой стана и режимом последующей термообработки.

- новый способ прокатки рельсов в универсальных калибрах, позволяет улучшить условия захвата, стабилизировать положение раската в валках, устранить его искривление при входе в очаг деформации, а также снизить расход электроэнергии на прокатку.

- разработанные методики и алгоритмы проектирования технологических режимов прокатки длиномерных железнодорожных рельсов на универсальном рельсобалочном стане применены при разработке технологического задания на реконструкцию рельсобалочного стана АО «ЕВРАЗ НТМК» и при разработке технологии прокатки рельсов типа Р65 на универсальном рельсобалочном стане ТОО «Актюбинский рельсобалочный завод» (г. Актюбе, Республика Казахстан).

5. Структура и содержание диссертации

Диссертация изложена на 301 странице текста и состоит из введения, восьми разделов, заключения, библиографического списка из 207 наименований работ отечественных и зарубежных авторов, включает 91 рисунок, 25 таблиц и четыре приложения.

Во введении рассмотрены актуальность и степень проработки темы исследования, намечена цель диссертационной работы.

В первом разделе выполнен анализ научных работ, посвященных тематике диссертации, проведена оценка современного состояния и развития теории и технологии производства железнодорожных рельсов на современных универсальных рельсобалочных станах, а также методов расчета технологических параметров прокатки рельсов. На основе проведенного анализа сформулирована цель работы и определены задачи диссертационного исследования.

Во втором разделе приведены теоретические исследования процесса прокатки рельсового профиля в универсальных калибрах. На основе применения вариационного принципа минимума полной мощности и современных программно-вычислительных средств была поставлена и решена задача по определению параметров формоизменения

металла, кинематики процесса и энергозатрат при прокатке рельсового профиля в универсальном четырехвалковом рельсовом калибре.

Результаты решения задачи позволили разработать математическую модель формоизменения и энергосиловых параметров в процессе прокатки рельсового профиля в универсальном калибре с повышенной точностью расчетов за счет исключения традиционных упрощений и допущений вычислительного характера. Численная реализация разработанной модели позволила определить закономерности формоизменения металла и силовых воздействий, которые для практического использования в инженерных расчетах были аппроксимированы в формулы и положены в основу научно обоснованной методики расчета рациональных режимов обжатий, скоростных и энергосиловых параметров прокатки рельсов на современных универсальных рельсобалочных станах.

В третьем разделе рассмотрены общие и частные аспекты рельсовой калибровки как технологической системы.

На основе анализа промышленных калибровок валков, разработана единая блочная структурная схема, позволяющая описать практически все известные и сформировать множество новых различных вариантов схем рельсовых калибровок в зависимости от состава оборудования стана и требований, предъявляемых к технологическому процессу.

Диссертантом указано, что с использованием регрессионных формул, полученных в разделе 2, разработана научно обоснованная методика расчета формоизменения металла при прокатке в универсальных четырехвалковых рельсовых калибрах.

На базе статистического анализа промышленных калибровок и литературных данных им разработана методика формоизменения металла при прокатке в черновых двухвалковых рельсовых калибрах и сформулированы рекомендации по расчету и конструированию подготовительных тавровых калибров.

В четвертом разделе представлены результаты исследования характерных особенностей прокатки рельсов в универсальных четырехвалковых калибрах. Установлены закономерности поведения раската в процессе входа его в очаг деформации универсального калибра и качественно оценены силовые воздействия рельсового раската и вводных направляющих линеек. Изложено теоретическое исследование условий входа раската в калибр, по результатам которого сформулированы математически условия захвата раската валками универсальной клетки. Описан разработанный способ прокатки рельсов в универсальных калибрах с последовательно расширяющейся шейкой, получены формулы для расчета величины расширения шейки и обжатий головки и подошвы позволяющие выровнять длины очагов деформации шейки, головки и подошвы в процессе захвата этих элементов профиля валками

универсального калибра и устранить искривления раската при входе в очаг деформации. В отдельный подраздел выделены результаты вычислительного эксперимента по определению влияния параметров прокатки на величину коэффициентов приращения – утяжки фланцев и форму их свободной поверхности.

В пятом разделе представлена математическая модель расчета рационального скоростного режима прокатки в непрерывно-реверсивных группах клеток современных универсальных рельсобалочных станов для ввода в систему автоматического управления электроприводом непрерывно-реверсивной группы клеток с целью увеличения производительности стана.

В шестом разделе излагаются исследования температурных режимов и энергосиловых параметров прокатки рельсов с применением универсальных рабочих клеток. В разделе изложена разработанная методика моделирования температурного и напряженного состояния при прокатке длиномерных рельсов в программном комплексе Deform-3D, определены закономерности изменения температуры металла и интенсивности напряжений по длине и элементам прокатываемого рельса.

Представлена математическая модель, позволяющая оперативно рассчитывать температуру, любого элемента рельсового профиля по длине чистового раската с целью управления настройкой стана и режимом последующей термообработки. Разработана методика расчета энергосиловых параметров прокатки рельсов в универсальных калибрах, позволяющая рассчитывать весь комплекс силовых характеристик процесса, а также осуществлять проверку ограничений режимов деформации по прочности оборудования и мощности электродвигателей привода рабочих клеток универсального рельсобалочного стана.

Седьмой раздел посвящен разработке общего алгоритма проектирования рациональных калибровок валков и технологических режимов прокатки рельсов на универсальном рельсобалочном стане на основе представленных в работе методик расчета формоизменения металла, скоростных режимов прокатки, температурных и энергосиловых параметров прокатки железнодорожных рельсов.

В восьмом разделе представлено использование результатов диссертационной работы.

6. Оценка внутреннего единства полученных результатов.

Внутреннее единство диссертации заключается в том, что выполненный комплекс теоретических и экспериментальных исследований объединен единой целью, направленной на решение важной научной проблемы-разработке комплекса технических и технологических решений процесса прокатки железнодорожных рельсов на универсальных рельсобалочных станах, отвечающих современным и

перспективным требованиям качества, эксплуатационной надежности и конкурентоспособности.

7. Подтверждение достаточной полноты публикаций основных положений, результатов и выводов диссертации.

Основные положения и результаты диссертации Шварца Д.Л. в полном объеме изложены в научно-технических изданиях и обсуждены на конференциях различного уровня, в том числе международных и всероссийских.

По результатам выполненных исследований опубликовано 35 научных статей, в том числе 20 статей в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук и в англоязычных изданиях, включенных в библиографические базы Web of Science и Scopus, получено три патента РФ на изобретения.

8. Автореферат полностью отражает структуру и основное содержание диссертационной работы.

9. Направленность полученных соискателем результатов на решение актуальной проблемы, теоретической или практической задачи.

В диссертационной работе решаются две актуальные проблемы: теоретические исследования прокатки рельсов в четырехвалковых универсальных калибрах, которые можно рассматривать как методическую основу для изучения формоизменения металла в универсальных рельсовых калибрах, и разработка технических и технологических решений, обеспечивающих достижение высоких технико-экономических показателей при проектировании рациональных калибровок валков и технологических режимов прокатки рельсов на универсальных прокатных станах.

10. Недостатки, вопросы и замечания по содержанию и оформлению диссертационной работы:

1. В диссертации в разделе 2 (стр. 70) выражение 2.7 для определения обжатия подошвы рельса Δt_n , которое выведено из условия равенства коэффициентов вытяжки шейки и подошвы $\lambda_{ш} = \lambda_n$, записано некорректно. Согласно рисунка 2.1 отношение $\frac{\omega'_n}{\omega_n}$ должно иметь следующий вид:
$$\frac{\omega'_n}{\omega_n} = \frac{0,5(a'_n + b'_n)(h'_n - d') + b'_n d'}{0,5(2b'_n - (h'_n - d' + \Delta h_n) \operatorname{tg} \varphi_n - 2\Delta t_n)(h'_n - a + \Delta h_n) + (b'_n - \Delta t_n) d'}$$

2. В разделе 2 стр. 67 одним из параметров формоизменения металла при прокатке рельсового профиля в универсальном калибре выбрана относительная высота фланцев подошвы и головки характеризующаяся отношением высоты фланцев к толщине фланцев у вершины $\frac{h_n}{a_n}$ и $\frac{h_r}{a_r}$, однако для вычислительного эксперимента по определению основных

закономерностей формоизменения металла при прокатке относительная высота фланцев подошвы и головки берется как отношение высоты фланцев к толщине фланцев у основания (стр. 85).

С чем связано такое изменение расчета этого параметра?

3. В разделе 2 вычислительный эксперимент по определению основных закономерностей формоизменения металла при прокатке рельсов в универсальном четырехвалковом калибре с использованием разработанной математической модели и способа ее численной компьютерной реализации показал, что при прокатке с одинаковыми коэффициентами вытяжки по элементам профиля при любых сочетаниях геометрических параметров наблюдается стабильная утяжка фланцев подошвы и приращения фланцев головки, на что указывают определенные коэффициенты приращения или утяжки фланцев $\beta_{\text{п}}$ и $\beta_{\text{г}}$. Однако пятилетний опыт прокатки большого диапазона рельсов на рельсобалочном стане АО «ЕВРАЗ ЗСМК» показывает наоборот постоянное приращение фланцев подошвы в универсальных калибрах. Также необходимо отметить, что в п. 4.6 диссертации при исследовании закономерностей течения металла при прокатке рельсового профиля при помощи координатных сеток коэффициенты приращения – утяжки фланцев подошвы приведенных в Приложение П 2.3 имеют значения больше 1,0, значит они прирастают. В этой связи, согласно разработанного алгоритма проектирования калибровки валков на универсальном рельсобалочном стане, во вспомогательных двухвалковых калибрах высотное обжатия фланцев полагают осуществлять именно на величину суммарного приращения этих фланцев полученных в универсальных клетях.

Связываете ли Вы несоответствие вычислительного эксперимента с практическими и экспериментальными данными формоизменения фланцев профиля при прокатке с учетом таких параметров при проведении вычислительного эксперимента как температура прокатки, натяжение полосы между клетями, неточно взятыми безразмерными параметрами показателями прокатки или небыли учтены какие-то другие факторы?

4. В диссертации в п. 2.3.1 (стр. 88) автор констатирует увеличение утяжки подошвы и приращение головки с ростом коэффициента обжатия шейки вследствие увеличения коэффициента обжатия фланцев, для выполнения условия $\lambda_{\text{ш}} = \lambda_{\text{п}} = \lambda_{\text{г}}$, так как возрастает длина очага деформации по подошве и головке. Далее разъясняется, что «поскольку длина очага деформации больше его ширины, то в соответствии с законом наименьшего сопротивления интенсивность течения металла в поперечном направлении увеличивается, поэтому с ростом коэффициента обжатия шейки увеличивается утяжка подошвы и приращение головки».

Непонятно о каком очаге деформации идет речь? Т.к. если рассматривать отдельно деформацию шейки, головки и подошвы в универсальном четырехвалковом калибре то длина очага деформации каждого из этих элементов профиля гораздо меньше их ширины.

И почему увеличивается утяжка подошвы, если в соответствии с законом наименьшего сопротивления интенсивность течения металла в поперечном направлении увеличивается?

5. В разделе 6 (стр. 165 – 167) представлена калибровка валков для прокатки рельсов типа Р65 рассчитанная по разработанной автором методике расчета формоизменения металла при прокатке рельсов на современных универсальных рельсобалочных станах. Для приведенной схемы прокатки в чистовом калибре предусматривается небольшая деформация элементов профиля, в частности обжатие шейки равно 0,4 мм, что соответствует коэффициенту обжатия $\frac{1}{\eta_{ш}} = 1,02$. Результаты расчета формоизменения металла в данном калибре показывают общую вытяжку в этом калибре равную $\lambda_{общ} = 1,019$. Здесь необходимо отметить, что по ГОСТ Р 51685–2013 «Рельсы железнодорожные» согласно п. 5.13.1: «На средней части шейки с одной стороны каждого рельса в горячем состоянии выкатывают выпуклую маркировку содержащую: обозначение предприятия – изготовителя, месяц и цифры года изготовления, тип рельса, обозначение направления прокатки стрелкой, при этом маркировочные знаки должны быть высотой от 20 до 25 мм и выступать на расстояние от 0,6 до 1,3 мм с плавным переходом к поверхности шейки». Для выполнения данных требований необходимо, как минимум, предусматривать обжатия шейки в чистовом калибре равную 1,2 мм, т.е. задаваться коэффициентом обжатия шейки не ниже $\frac{1}{\eta_{ш}} = 1,07$. На практике для расчета параметров предчистового калибра задаются коэффициентами вытяжки в чистовом универсальном трехвалковом калибре в пределах $\lambda_{чист} = 1,07 \div 1,1$.

Считаю, что эти значения должны быть введены в методику расчета формоизменения металла при прокатке рельсов на универсальных рельсобалочных станах.

6. В разделе 6 (стр. 181) диссертант совершенно справедливо утверждает, что при охлаждении рельса, с существенно неравномерным температурным полем наблюдается искривление (коробление) рельса под действием возникающих при этом термических напряжениях. Для выравнивания и уменьшения абсолютных значений напряжений в поперечных сечениях по длине рельсового раската перед охлаждением и за счет этого уменьшения искривления и коробления рельсов он предлагает концы рельса закреплять от поперечного перемещения в клещевых зажимах и растягивать рельс в продольном направлении с напряжениями, составляющими 0,7 ÷ 0,9 предела текучести рельсовой

стали при температуре конца прокатки. Благодаря упругому растяжению рельса происходит выравнивание напряжений в поперечных сечениях по длине рельсового раската, что способствует повышению прямолинейности и, следовательно, условий и качества последующей холодной отделки рельсов.

Возможно, ли применять такую операцию для 100 м рельсов и что для этого требуется?

7. В разделе 8.2 (стр. 238) представлены возможные варианты схем прокатки в обжимной клети, разработанные диссертантом в рамках хозяйственного договора №31/15/Н977.210.013/15 между Уральским федеральным университетом и ТОО «Актюбинский рельсобалочный завод» (г. Актюбе, Республика Казахстан) для прокатки рельсов типа Р65. Из рисунка 8.9 можно видеть, что прокатка по схемам 1 и 3 предусматривают нечетное количество проходов (9), если в ящичном калибре прокатку осуществлять за 5 проходов, а при прокатке по схемам 2, 4 и 5 за четное количество проходов (10), если в ящичном калибре прокатку осуществлять за 5 проходов. Чтобы выдать раскат на заднюю сторону обжимной клети для дальнейшей прокатки его в группе тандем необходимо делать еще и дополнительный холостой проход и таким образом количество проходов по сравнению со схемами 1 и 3 увеличивается на 2, что приводит к падению производительности стана.

В чем целесообразность увеличения количества проходов по схемам 2, 4 и 5?

Вторая группа вопросов связана с ошибками и неточностями методического, терминологического и редакционного характера:

1. На стр. 69 диссертации 4-ый абзац снизу читаем: «Полагали, что уклон внутренней грани в процессе прокатки не изменяется $\varphi_{\Pi} = \varphi'_{\Pi} = \frac{b'_{\Pi} - a'_{\Pi}}{h' - d'}$ ». Так как речь идет об уклоне и в формуле рассчитывается тангенс угла, то необходимо записать $tg\varphi_{\Pi} = tg\varphi'_{\Pi} = \frac{b'_{\Pi} - a'_{\Pi}}{h' - d'}$.

2. На стр. 104 номера рисунков в описании не соответствуют номерам рисунков на чертеже.

3. На стр. 151 уравнение 4.21, определяющее контур свободной поверхности полосы, должно быть записано в виде $h'_r(\tilde{y}) = \frac{h_r}{\beta_r(\tilde{y})}$.

4. В работе, в частности на стр. 11 и 14, используется разная интерпретация одного и того же объекта, который в одном случае представлен как «раскат», а в другом как «полоса». В рамках данного литературного стиля правильное изложение материала требует использование единой формулировки объекта.

Заключение. Сделанные замечания не снижают важности полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку работы. Диссертационная работа Д.Л. Шварца представляет собой

совокупность теоретических и экспериментальных исследований, выполненных на актуальную тему, содержит новые результаты, имеющие большое научно-практическое значение, является завершенной научно-квалификационной работой. В ней изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие процесса прокатки железнодорожных рельсов на современных универсальных рельсобалочных станах, что является существенным вкладом в развитие экономики страны.

По целям, задачам, объему выполненных исследований, уровню научной новизны, обоснованности и достоверности полученных результатов, их значимости для науки и практики диссертация отвечает требованиям, изложенным в пункте 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор – Шварц Данил Леонидович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.05 – «Обработка металлов давлением».

Официальный оппонент:

Главный Калибровщик рельсобалочного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК», д.т.н.
(специальность 05.16.05 – «Обработка металлов давлением»)



Дорофеев Владимир Викторович

654043, г. Новокузнецк, шоссе Космическое, д. 16
телефон: факс 8 (3843) 79-24-57, сот. 8-903-068-33-95
электронная почта: Vladimir.Dorofeev@evraz.com

Я, Дорофеев Владимир Викторович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Шварца Данила Леонидовича, и их дальнейшую обработку.

«22» апреля 2019 г.

Подпись Дорофеева В.В. удостоверяю:

Начальник отдела кадров
АО «ЕВРАЗ ЗСМК»



И.Н. Кочкина