

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Непряхина Сергея Олеговича «Развитие теории и совершенствование
технологических режимов прокатки двутавровых профилей в универсальных
калибрах», представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 05.16.05 – Обработка металлов
давлением

Актуальность темы диссертации

В современных условиях стальные двутавровые профили, широко используемые в строительстве и машиностроении, прокатывают в универсальных балочных калибрах на прокатных станах различных типов. Как показал передовой зарубежный опыт, наиболее экономичными для получения двутавров широкого сортамента являются современные рельсобалочные станы, снабженные непрерывно-реверсивными группами универсальных клетей. В России первые такие станы построены и в настоящее время осваиваются на Западно-Сибирском (ОАО «ЕВРАЗ-ЗСМК») и Челябинском металлургическом комбинатах (ОАО «Мечел»).

Эффективность работы указанных станов зависит главным образом от рациональности и оптимальности технологических режимов прокатки в универсальных клетях. Поэтому при разработке калибровок валков и режимов обжатий в группах универсальных клетей необходимо использовать современные достижения теории. Однако, несмотря на известные исследования процессов прокатки балок (П.И. Полухина, И.Я. Тарновского, М.И. Бояршинова, А.И. Скороходова и др.), по современным требованиям теория прокатки двутавровых профилей в универсальных калибрах развита недостаточно. До настоящего времени при проектировании калибровок валков и технологических режимов прокатки применяются эмпирические формулы и эвристические приемы, а также методы соответственной полосы. Не рассчитываются и не анализируются температурные поля и напряженно-деформированное состояние (НДС) металла в элементах двутаврового профиля. Теоретические исследования, выполненные с применением вариационных методов механики деформируемого тела, проведены с рядом серьезных допущений и упрощений и не представлены в виде инженерных формул, позволяющих проводить практические расчеты при анализе и проектировании технологических режимов. Современные вычислительные и

Вх. №05-19/1-755
от 18.08.15г.

программные средства еще не нашли широкого применения для теоретических исследований процессов прокатки в универсальных калибрах.

Таким образом, существующее состояние теории прокатки в универсальных балочных калибрах в значительной степени ограничивает возможность создания научно обоснованной методики проектирования калибровок валков и технологических режимов прокатки двутавровых профилей. Это позволяет считать актуальной следующую задачу диссертационного исследования:

проведение научно-исследовательской работы по совершенствованию теории прокатки двутавров в универсальных калибрах на основе применения фундаментальных положений механики деформируемого тела и современных вычислительных средств и созданию новой, научно обоснованной методики проектирования калибровок валков и технологических режимов прокатки двутавров на современных универсальных рельсобалочных станах.

Актуальность указанной работы подтверждается тем, что она проводилась в соответствии с государственными планами и программами, указанными в диссертации и автореферате (с. 7 и с. 5 соответственно).

Структура и содержание диссертации

Диссертация содержит введение, 4 главы, заключение, список литературы из 139 наименований и 4 приложения. Изложена на 191 стр. машинописного текста, включая 45 рисунков и 15 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации и дана общая характеристика работы.

В первой главе представлен достаточно подробный аналитический обзор по теме диссертации. Рассмотрены способы и оборудование для прокатки двутавровых профилей, показаны преимущества прокатки их в универсальных калибрах. Особое внимание уделено анализу теории прокатки в таких калибрах. Автор делает правильный вывод о том, что теория прокатки в универсальных калибрах развита недостаточно, т.к. до настоящего времени в расчетах калибровок валков применяются эмпирические формулы и эвристические приемы, а выполненные И.Я. Тарновским, А.Н. Скороходовым и др. теоретические решения вариационными методами механики проведены с рядом грубых допущений и не доведены до инженерных формул. Поэтому автор обосновано ставит

своей целью развитие теории прокатки в универсальных калибрах на основе применения фундаментальных принципов механики твердого тела и современных вычислительных и программных средств. По результатам аналитического обзора сформулированы задачи исследования.

Во второй главе представлены теоретические исследования процесса прокатки двутавровых профилей в универсальных калибрах. На основе применения вариационного принципа минимума полной мощности и современных вычислительных средств поставлена и решена задача по определению параметров формоизменения металла (обжатие и приращение фланцев) и энергозатрат (давление, мощность и крутящий момент) при заданном, одинаковом по шейке и фланцам коэффициенте вытяжки, что обеспечивает равномерность деформации элементов двутаврового профиля. Разработан новый теоретический метод расчета контактных давлений и усилий прокатки, основанный на использовании физических уравнений связи напряженного и деформированного состояния металла в очаге деформации. Результаты теоретических решений проверены по экспериментальным данным и представлены системой аппроксимирующих формул, которые достоверно определяют закономерности формоизменения и энергозатрат при прокатке двутавров в универсальных балочных калибрах и являются математической моделью рассматриваемого процесса.

В третьей главе на основе полученной математической модели разработана новая, научно обоснованная методика проектирования калибровок валков и технологических режимов прокатки двутавров на сортовых и рельсобалочных станах, снабженных универсальными клетями. При этом по производственным данным получены уравнения регрессии зависимости для определения числа универсальных калибров, средних и суммарных коэффициентов вытяжки, распределения коэффициентов вытяжки по проходам, разработаны рекомендации по выбору способа прокатки и составлению рациональной схемы калибровки. На уровне заявки на изобретение предложен новый способ прокатки двутавровых профилей в непрерывно-реверсивных группах клетей современных рельсобалочных станов. Составлен алгоритм расчета формоизменения металла и энергосиловых параметров в каждом проходе, разработана методика расчёта скоростных и температурных режимов прокатки, моделирования температурных полей и НДС металла в элементах прокатываемого профиля с применением метода конечных элементов в программном комплексе

Deform–3D. С учетом особенностей прокатки на универсальных рельсобалочных станах скорректирована известная система ограничений технологических режимов прокатки.

В четвертой главе диссертации представлен пример применения созданной методики для проектирования калибровки валков и технологического режима прокатки двутаврового профиля №35Б2 в условиях универсального рельсобалочного стана Челябинского металлургического комбината (ОАО «Мечел»). В результате разработана калибровка валков непрерывно–реверсивной группы тандем, характеризуемая равномерной деформацией металла (одинаковыми коэффициентами вытяжки) по шейке и фланцам в каждом универсальном калибре. Рассчитаны скоростные и динамические режимы прокатки по разработанной калибровке, проведено компьютерное моделирование температурных полей и напряженно–деформированного состояния металла в программном комплексе Deform–3D. Определены закономерности изменения температуры, напряженного и деформированного состояния металла в поперечных сечениях и по длине раскатов. Показано, что деформированное состояние металла характеризуется равенством интенсивности деформаций по шейке и фланцам профиля, что является следствием исходного условия о равенстве коэффициентов вытяжки этих элементов и доказывает необходимость применения этого критерия в расчетах калибровок валков.

Показано, что разработанная калибровка удовлетворяет всем ограничениям и может быть реализована на рассматриваемом стане.

Оценивая содержание диссертации в целом, следует отметить, что материал исследования изложен в правильной логической последовательности и достаточно полно раскрывает этапы большой научно–исследовательской работы от постановки задач до выработки рекомендаций по использованию результатов исследований.

Новизна и обоснованность научных положений и результатов диссертации

К основным результатам диссертации, обладающим существенной научной новизной и практической ценностью, относятся следующие разработки автора:

- математическая модель численного решения вариационной задачи по определению формоизменения металла и энергосиловых параметров при

прокатке двутаврового профиля в универсальном балочном калибре с целью получения равномерного распределения деформации по стенке и полкам (глава 2, п. 2.1-2.7);

- новый метод расчета контактного давления и усилий прокатки в универсальном балочном калибре, основанный на использовании физических уравнений связи напряженного и деформированного состояния металла в очаге деформации (глава 2, п. 2.6);

- система инженерных формул, выражающих закономерности изменения характеристик деформации (обжатие и приращение фланцев) и энергосиловых параметров (давление, крутящий момент, мощность деформации) в зависимости от исходных критериев, характеризующих условия прокатки в универсальных калибрах рельсобалочных и сортовых станов (глава 2, п. 2.8);

- результаты статистического анализа действующих калибровок валков универсальных балочных станов, представленные в виде уравнений регрессии для определения характерных параметров калибровки: числа универсальных калибров, средних и суммарных коэффициентов вытяжки, распределения коэффициентов вытяжки по проходам и др. (глава 3, п.3.2, п.3.3);

- новая, научно обоснованная методика расчета калибровок валков и технологических режимов прокатки двутавровых профилей, основанная на результатах проведенных исследований и обеспечивающая получение равномерной деформации по элементам профиля во всех универсальных клетях непрерывно-реверсивной группы тандем современного рельсобалочного стана (глава 3, п.3.4- п.3.8);

- методика и результаты компьютерного моделирования в программном комплексе «Deform-3D» температурных режимов и напряженно-деформированного состояния металла в очаге деформации при прокатке двутаврового профиля на типовом современном рельсобалочном стане, закономерности изменения температуры металла, интенсивности деформаций и напряжений по длине и в поперечных сечениях двутаврового раската в клетях прокатного стана (глава 4, п. 4.5);

- новый способ прокатки двутаврового профиля в непрерывно-реверсивной группе универсальных клеток, на который подана заявка на изобретение (глава 3, рис. 3.6).

Научная новизна указанной выше вариационной задачи по прокатке двутавра в универсальном калибре заключается в том, что в отличие от известных аналогичных решений И.Я. Тарновского, А.Н. Скороходова, В.В. Бажутина и других ученых, эта задача поставлена и решена, во-первых, при заданном коэффициенте вытяжки, одинаковом по шейке и полкам, что позволило получить равномерную деформацию по элементам профиля, во-вторых, с использованием современных прикладных вычислительных программ Mathcad, Maple, что позволило отказаться от ряда достаточно грубых упрощений и приближений, сократить время и повысить точность расчетов. Выполненное диссертантом теоретическое исследование позволило продолжить и поднять на более высокий уровень направление применения вариационных методов механики для решения задач сортовой прокатки.

Новый метод расчета контактного давления в универсальном балочном калибре разработан в результате анализа полной системы уравнений теории пластичности и является более глубоко обоснованным по сравнению с инженерным методом, а следовательно, позволит получать более точные результаты расчетов.

Система инженерных формул (2.36-2.43) для расчета параметров формоизменения и энергозатрат при прокатке двутавровых профилей получена путем аппроксимации результатов численного решения поставленной вариационной задачи при изменении исходных критериев по плану (табл. 2.3), предусматривающему широкий диапазон условий прокатки на рельсобалочных и сортовых станах. Полученные формулы и построенные графики (рис. 2.5-2.8) правильно отражают качественные закономерности течения металла и силовых воздействий при прокатке в универсальных балочных калибрах. Достоверность получаемых результатов проверена экспериментально. Ценность полученных формул заключается в том, что благодаря им оказывается возможным в масштабе реального времени (оперативно) воспроизводить результаты решения вариационных задач и использовать их практически в методике расчета технологических режимов прокатки двутавров.

Разработанная методика расчета калибровок валков и технологических режимов прокатки двутавровых профилей основана на системном подходе и наряду с расчетом формоизменения металла и размеров калибров включает определение скоростных режимов прокатки, температурного и напряженно-деформированного с оценкой равномерности деформации отдельных

элементов двутаврового профиля. Следует отметить, что при этом впервые в калибровке валков рассчитывается методом конечных элементов в программе «Deform-3D» интенсивность деформации металла в каждом элементе профиля и вырабатываются рекомендации по выравниванию ее за счет управления коэффициентом вытяжки шейки и фланцев (глава 4, рис. 4.15 и 4.16).

Достоверность результатов диссертации

1. Указанные выше результаты и положения диссертационной работы основаны:

- на фундаментальных положениях теории пластичности (вариационный принцип минимума полной мощности, физические уравнения связи напряженного и деформированного состояния, метод конечных элементов);

- на применении современных вычислительных методов и пакетов программ (Mathcad, Maple и др.);

- на статистическом обобщении действующих технологических режимов прокатки двутавровых профилей на универсальных балочных станах.

2. Результаты расчетов формоизменения металла и энергозатрат по методам и формулам диссертанта дают достаточно хорошую сходимость с экспериментальными производственными и лабораторными данными (см. п.2.7, табл. 2.1 и 2.2). Расчетные закономерности изменения параметров прокатки двутавров под действием условий деформирования правильно отражают влияние различных факторов.

Поэтому основные положения и результаты диссертации С.О. Непряхина следует считать достоверными.

Критические замечания

1. На стр. 7 диссертации сделан вывод о том, что «методы конечных элементов, реализованные в современных комплексах Deform-3D, FORGE, ANSYS, до настоящего времени не нашли применения для моделирования температурных полей и НДС при прокатке двутавров». Это не соответствует действительности, поскольку в работах Лехова О.С. и Комратова Ю.С. с использованием комплекса ANSYS определены НДС не только двутаврового профиля, но и одновременно температурные поля и НДС горизонтальных и

вертикальных валков при прокатке двутавровой заготовки в клетях универсально-балочного стана НТМК.

2. В 4 главе с использованием программного комплекса Deform-3D определены закономерности изменения температуры металла, интенсивности деформации и напряжений по длине и в поперечных сечениях двутаврового раската в клетях прокатного стана. Но для оценки качества двутавровых профилей и износа валков необходимо знать закономерности распределения нормальных и касательных напряжений по элементам двутаврового профиля, а также знать, где они растягивающие или сжимающие, что позволяет сделать комплекс ANSYS. Знание областей растягивающих напряжений, которые снижают качество двутавровых профилей, позволяет целенаправленно изменить калибровку валков и режим прокатки с целью снижения растягивающих напряжений. Приведенные в работе эпюры интенсивности напряжений такой информации не дают. Тем более на стр. 46 диссертации сделан вывод о том, «что наиболее целесообразным для анализа процесса деформации двутавровых профилей в универсальных четырехвалковых калибрах является использование системы инженерного анализа Deform-3D. С учетом вышеизложенного такой вывод не следует делать.

3. При расчете степени силовой загрузки электродвигателей привода универсальных клетей непрерывно-реверсивной группы тандем в диссертации не учитываются динамические явления в линиях привода, а также межклетевое натяжения раската.

4. Не проработан вопрос о возможности применения на универсальном рельсобалочном стане фасонной непрерывнолитой заготовки, которая, в частности, применяется на универсально-балочном стане НТМК. Известно, что непрерывнолитые заготовки имеют дефекты литейной природы, которые при наличии растягивающих напряжений в очагах деформации могут раскрываться, что снижает качество балок. В связи с этим при теоретических исследованиях процесса прокатки фасонных заготовок очень важно определять величину и области растягивающих напряжений в очагах деформации, что не позволяет сделать комплекс Deform-3D.

Оформление диссертации. Публикации по работе

Диссертация написана достаточно грамотно и весьма аккуратно оформлена в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11-2011 и с применением

современных программных средств. Она хорошо иллюстрирована схемами, графиками и эпюрами температурного и напряженно-деформированного состояния металла. Отдельные печатки и описки не препятствуют пониманию излагаемого материала.

Материалы диссертационной работы достаточно полно опубликованы в 11 печатных трудах, из которых 5 в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК РФ. Все публикации соответствуют теме диссертации. Автореферат правильно отражает основное содержание диссертации.

Заключение

Указанные выше замечания не снижают научной и практической ценности результатов представленной диссертации и не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку выполненной диссертационной работы.

Диссертация С.О. Непряхина является законченной, самостоятельной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи совершенствования теории и технологии прокатки стальных двутавровых профилей на современных универсальных рельсобалочных станах, что имеет существенное значение для развития обработки металлов давлением. Рассмотренная диссертация соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (пунктам 9-11,13,14 и др.), а автор ее С.О. Непряхин заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением.

Официальный оппонент,
доктор технических наук,
профессор,
профессор кафедры «Автомобили
и подъемно-транспортные машины»
ФГАОУ ВПО «РГПУ»

Олег Степанович Лехов

18.09.2015

Подпись О.С. Лехова заверяю:
Ученый секретарь Ученого совета
университета

Кириллова М.М.

Россия, 620012, Екатеринбург, ул. Машиностроителей, д. 11, 8(343)338-44-47,
MXLehov38@yandex.ru , ФГАОУ ВПО «Российский государственный профессионально-педагогический университет»