Многочисленными исследованиями установлено, что повреждение нижней поверхности горячекатаных полос обусловлено главным образом трением их о ролики рольгангов стана. При этом вероятность образования продиров, рисок и других механических повреждений возрастает в случаях сильного износа поверхности роликов, неправильной их установки и заклинивания. Сказанное в полной мере относится также к тянущим н формирующим роликам моталок. На современных широкополосных станах для предупреждения повреждения поверхности горячекатаных полос применяют следующие мероприятия: уменьшают расстояние между осями соседних роликов; повышают точность установки роликов в горизонтальной плоскости; применяют индивидуальный привод каждого ролика; обеспечивают плавное нарастание скорости вращения роликов по длине отводящего рольганга; повышают износостойкость роликов.

Жауыт Алгазы. В 2015 г. получил степень PhD., Институт пром. инженерии КазНТУ им. К. И. Сатпаева. Научные интересы: механика, вибрация и удар, анализ и синтез механизмов. Автор более 80 научных публикаций, 30 из которых вошли в международные базы Scopus (Elsevier) и Clarivate Analytics (Web of Science). Индекс цитируемости по шкале Хирше h-index=4.

978-613-9-82031-3

Горячей прокатки тонких полос

Алгазы Жауыт
Асылхан Алимбетов

Повышение эффективности работы стана горячей прокатки тонких полос

LAP LAMBERT Academic Publishing

Жауыт, Алимбетов

Алгазы Жауыт
Асылхан Алимбетов

Повышение эффективности работы стана горячей прокатки тонких полос

Алгазы Жауыт
Асылхан Алимбетов

Повышение эффективности работы стана горячей прокатки тонких полос

LAP LAMBERT Academic Publishing RU

Imprint
Any brand names and product names mentioned in this book are subject to trademark, brand or patent protection and are trademarks or registered trademarks of their respective holders. The use of brand names, product names, common names, trade names, product descriptions etc. even without a particular marking in this work is in no way to be construed to mean that such names may be regarded as unrestricted in respect of trademark and brand protection legislation and could thus be used by anyone.

Cover image: www.ingimage.com

Publisher:
LAP LAMBERT Academic Publishing
is a trademark of
International Book Market Service Ltd., member of OmniScriptum Publishing Group
17 Meldrum Street, Beau Bassin 71504, Mauritius

Printed at: see last page
ISBN: 978-613-9-82031-3

Zugl. / Утверд.: Алматы, КазНТУ им. К.И. Сатпаева, 2015

Copyright © Алгазы Жауыт, Асылхан Алимбетов
Copyright © 2018 International Book Market Service Ltd., member of OmniScriptum Publishing Group
All rights reserved. Beau Bassin 2018

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

SATBAYEV UNIVERSITY

АЛИМБЕТОВ АСЫЛХАН, ЖАУЫТ АЛГАЗЫ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ТОНКИХ ПОЛОС

МОНОГРАФИЯ

Республика Казахстан

Алматы, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
1 ПРОБЛЕМЫ РАБОТЫ ОТВОДЯЩЕГО РОЛЬГАНГА ШИРОКОПОЛОСНЫХ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ И ИХ РЕШЕНИ 6
1.1 Основные направления совершенствования станов горячей прокатки тонких полос 6
1.2 Основные направления совершенствования отводящего рольганга 18
1.3 Температурный режим прокатки и основные закономерности формирования структуры в металлах полос из углеродистой стали 35
2 РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ОТВОДЯЩЕГО РОЛЬГАНГА ПРОДОЛЬНО-КЛИНОВОГО СТАНА НОВОЙ КОНСТРУКЦИЙ.....38
2.1 Расчет мощности привода роликов отводящего рольганга с воздушной подушки 43
2.2 Расчет и конструирование шестеренной клети нового отводящего рольганга 51
2.2.1 Выбор электродвигателя 54
2.2.2 Расчет цилиндрического зубчатого редуктора 53
2.2.3 Расчет цилиндрических зубчатых колес редуктора 56
2.2.4 Расчет конического зубчатого редуктора 62
2.3 Расчет осевого вентилятора 67
3 РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ОТВОДЯЩЕГО РОЛЬГАНГА НОВОЙ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА AVTODESK INVENTOR 75
3.1 Расчет размеров и проверка прочности деталей шестеренных клетей нового отводящего рольганга с использованием программного продукта Autodesk Inventor 77
3.2 Расчет напряженно-деформированного состояния деталей шестеренной клети отводящего рольганга с использованием программного продукта Autodesk Inventor 79
3.3 Расчет напряженно-деформированного состояния роликов отводящего рольганга с использованием программного продукта Autodesk Inventor 86
3.3.1 Результаты и обсуждение 87
4 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ И ОХЛАЖДЕНИЕ ПОЛОС НА НЕПРЕРЫВНОМ ПРОДОЛЬНО-КЛИНОВОМ СТАНЕ И ОТВОДЯЩЕМ РОЛЬГАНГЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ 99
4.1 Разработка технологий горячей прокатки и охлаждение полос из стали А1 на непрерывном продольно-клиновом стане и отводящем рольганге новой конструкции с использованием метода физического моделирования 105

4.2 Разработка технологий охлаждение полос из стали 60С2ХА на отводящем рольганге новой конструкции с использованием метода физического моделирования 116
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 124
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 125

ВВЕДЕНИЕ

В условиях резкого и зачастую непредсказуемого изменения цен на металлопрокат и энергоресурсы использование инновационных технологий в прокатном производстве позволяет существенно повысить эффективность производства и соответственно, конкурентоспособность выпускаемой листовой продукции.

Исследованиями ученых дальнего и ближнего зарубежья доказано, что температурные условия прокатки на непрерывных широкополосных станах горячей прокатки (НШПСГП) и охлаждение на отводящем рольганге являются определяющим фактором получения качественного проката по структуре, механическим свойствам, планшетности в разнотолщинности.

В связи с этим первостепенным является создание эффективных оборудовании и технологий, позволяющих уменьшить энерго и трудозатраты на производство проката, снизить расходные коэффициенты металла и инструмента, улучшить качество и повысить точность прокатываемых листов.

Решение указанных вопросов во многом зависит от надежности работы отводящего рольганга. Отводящие рольганги входят в комплекс прокатного оборудования и являются достаточно сложными агрегатами, состоящими из большого количества роликов с индивидуальным приводом. Как показывает практика, именно их работа вызывает наибольшее количество аварийных остановок стана. Это приводит к снижению производительности прокатки, ухудшению качественных параметров листа. В связи с этим совершенствование конструкции отводящего рольганга, направленной на повышение качества листового проката является актуальной задачей.

Основные задачи:

- разработка конструкции нового отводящего рольганга обеспечивающих получение горячекатаных полос высокого качества и обоснование рациональных прочностных характеристик роликов нового отводящего рольганга;
- разработка методика расчета характеристик вспомогательных вентиляторов, обеспечивающих небольшой подъем полос или уменьшение их давления на ролики при транспортировке полос на новом отводящем рольганге;
- физическим моделированием исследование основных закономерностей формирования структур листов при водо-воздушном охлаждении горячекатаных листов на новом отводящем рольганге.

Современное прокатное производство представляет собой сложный многодельный технологический процесс, каждое звено которого выдвигает свои специфические требования к электромеханическому оборудованию.

При этом, перспективным направлением модернизации прокатного оборудования являются достижение высокого качества продукции и снижение затрат на ремонт. Одним из направлений повышение качества листопрокатной продукции и снижение затрат ремонт является усовершенствования конструкции отводящего рольганга НШПСГП. Отводящий рольганг является оборудованием, входящим в комплектную установку прокатного стана, он работает в достаточно тяжелых условиях.

Недостатком существующих отводящих рольгангов широкополосных прокатных станов является, то, что из-за непосредственного контакта транспортируемой полосы и роликов происходит неравномерный износ роликов. Неравномерный износ приводит к одновременному нахождению на рольганге роликов различных диаметров, что способствует нарушению соответствия скоростей полосы и рабочей поверхности роликов. Не соответствия этих скоростей из-за торможения проката на участках с большим износом бочки создает аварийную ситуацию, а большой износ рабочих поверхностей приводит к образованию поверхностных дефектов.

Многочисленными исследованиями установлено, что повреждение нижней поверхности горячекатаных полос обусловлено главным образом трением их о ролики рольгангов стана. При этом вероятность образования продиров, рисок и других механических повреждений возрастает в случаях сильного износа поверхности роликов, неправильной их установки и заклинивания. Сказанное в полной мере относится также к тянущим н формирующим роликам моталок. На современных широкополосных станах для предупреждения повреждения поверхности горячекатаных полос применяют следующие мероприятия: уменьшают расстояние между осями соседних роликов; повышают точность установки роликов в горизонтальной плоскости; применяют индивидуальный привод каждого ролика; обеспечивают плавное нарастание скорости вращения роликов по длине отводящего рольганга; повышают износостойкость роликов. Необходимым условием предупреждения повреждения поверхности горячекатаных полос является также поддержание высокого уровня технического состояния оборудования стана, которое предусматривает проведение осмотров линеек проводковой арматуры, роликов отводящего рольганга и других узлов при каждой перевалке, своевременную замену н ремонт отдельных деталей и узлов (в первую очередь транспортирующих роликов рольганга, межроликовых плит и др.).

Необходимо отметить, что ролики отводящего рольганга, является одним из массивных элементов, подвергается интенсивному износу и частым поломкам, что приводит к значительным отказам рольганга. Лишь по причине износа бочек роликов отводящего рольганга НШПС – 1700 АО «Арселор Миттал Темиртау» в течение года выходит из строя порядка 280 – 330 роликов, что для рольганга НШПС – 1700 составляет до 80 % годового расхода роликов.

Интенсификация скоростей транспортирования, обеспечение высокого качества поверхности полос требуют от ролика повышенных эксплуатационных показателей, основными из которых являются:

- минимальный осевой момент инерции;
- минимизация дисбаланса вследствие температурных деформаций при одностороннем нагреве;
- способность хорошо сопротивляться износу при трении.

Анализ многочисленных литератур свидетельствует о том, что существующие подходы к совершенствованию работы отводящих рольгангов не дают возможности резкого увеличения их работоспособности.На наш взгляд, качественное улучшение перемещения горячекатаных полосы можно достигнуть только с применением рольгангов принципиально новой конструкции, например с использованием принципа воздушной подушки в прокатном производстве.

Следовательно, обеспечение снижения износа роликов путем применение принципиально новой конструкции отводящего рольганга является актуальной задачей.

1 ПРОБЛЕМЫ РАБОТЫ ОТВОДЯЩЕГО РОЛЬГАНГА ШИРОКОПОЛОСНЫХ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ И ИХ РЕШЕНИЕ

В настоящее время выпуск горячекатаных и холоднокатаных листов высокого качества является одним из важных вопросом развития прокатного производства. Получение конкурентоспособных горячекатаных и холоднокатаных полос возможно при соблюдении температурно-деформационных режимов прокатки, применении энергосберегающих технологических процессов, уменьшения стоимости оборудования и затрат на его ремонт. По нашему мнению вклад в решение данной проблемы может внести совершенствование конструкции рольгангов прокатного стана и, в частности, отводящего рольганга [1-10]. Нами сделанный анализ научно-технической информации показывает, что хорошие результаты можно добиться при использовании отводящих рольгангов, имеющих уникальную конструкцию. В частности использование отводящего рольганга, где воздух высокого давления одновременно используется для охлаждения горячекатаных полос и уменьшения нагрузки на его ролики, будет повышаться качество прокатанных полос.

1.1 Основные направления совершенствования станов горячей прокатки тонких полос

В настоящее время машины непрерывной разливки заготовки (МНЛЗ) и широкополосные станы непрерывной горячей прокатки в основном используют для производства горячекатаных тонких полос из сталей и сплавов [11,12]. Их производительность 3,5 – 6,0 млн. т в год. Слябы массой до 20 – 45 т, толщиной до 300 мм и шириной, равной ширине готового листа являются исходным материалом при прокатке тонких полос в непрерывных широкополосных станах горячей прокатки (НШСГП).

Следует отметить, что из черновых и чистовых групп клетей состоят непрерывные широкополосные станы горячей прокатки [11,12]. Обычно, черновую группу входят отдельно стоящие клети, а чистовая группа состоит из 6 – 7 четырех валковых клетей, которые объединены в непрерывную группу. В черновой группе клетей расстояние между отдельными клетями больше длины раската.

Известно [11,12], что в НШСГП моталки для смотки полос в рулоны установлены за чистовой группой клетей. При этом, между черновой и чистовой группами клетей размещены промежуточные рольганги, а после чистовой группы установлены отводящие рольганги. Рольгангиимеют станину, где рядами размещены ролики. Ох используют для транспортировки металла к прокатному стану, подачи его в валки, приема из валков и передвижения между клетями стана, а также к

вспомогательному или отделочному оборудованию. Основными параметрами рольгангов являются шаг, диаметр и длина бочки роликов. Рольганг имеют групповой, индивидуальный или полу индивидуальный привод (каждый ролик или каждые два ролика имеют приводит отдельного двигателя), а также ролики без приводов (гравитационный рольганг, расположенный с небольшим наклоном). В зависимости от вида выполняемых работ и материала транспортировки ролики рольганга могут быть цилиндрическим, ступенчатым, ребровым, конусным (для поворота листов) и двух-конусным (для труб и прутков). Ролики рольганга по конструкции могут быть цельным и составным.

Необходимо отметить, что отводящие рольганги применяют для транспортировки, охлаждения с рациональными температурными режимами и смотки полос. Для охлаждения с рациональными температурными режимами рольганги НШСГП оборудованы водо охлаждающим устройством. Давлением воды равняется 1 – 1,2 МПа.

В НШСГП применяют различные датчики для измерения температуры, усилий, натяжения [13]. Такое измерение необходимо для контроля и регулирование технологии прокатки. Следует отметить, что бесконтактные измерители толщины и ширины полосы также используют в НШСГП. В данных станах установленные локальные системы автоматизации нагрева, транспортировки, регулирования температурного режима и режима обжатий имеют оперативную связь с центральной управляющей ЭВМ.

Из материалов приведенной в работе [14] следует, что при по рулонной прокатке в существующих НШСГП стран ближнего и дальнего зарубежья передние и задние концы полос прокатываются при неустановившемся режиме и без натяжения. Следует отметить, что конструкция этих станах не обеспечивает бесконечную прокатку полос. По мнению авторов данной работы, вышесказанные недостатки приводят к снижению качества полос, выхода годного и производительности. Для устранение этих недостатков в работе [15] предлагается использовать компактный непрерывный широкополосный стан горячей прокатки с малой производительностью и низкими капитальными затратами, а также компактный НШСГП с сравнительно большой производительностью и высокими капитальными затратами.

Авторы работы [16] утверждают, что компактный непрерывный широкополосный стан горячей прокатки обеспечивает уменьшение общей длины стана, установку оборудования большой мощности и возможность бесконечной прокатки. В данном стане бесконечную прокатку осуществляют путем сварки промежуточных листов между собой перед чистовой группой стана, при этом деформированную в чистовой группе полосу режут летучими ножницами и сматывают в рулоны. В работах [17,18], разработанная технология бесконечной прокатки, с одной стороны,

позволяет промышленных условиях производить особо тонкие полосы большой ширины, а с другой стороны, путем использования при прокатке смазки и принудительного охлаждения получат полосы высокого качества. Таким образом, предложенная технология позволяет устранить вышеуказанные недостатки.

На основе результатов, приведенных работах [19,20], можно сделать вывод, что бесконечную прокатку можно осуществит в случае выполнение следующих условии:

- за малый промежуток времени прочно соединить полосы перед чистовой группой стана;
- путем точного регулирования темпа прокатки обеспечить высокую скорость движения полосы;
- ритмично произвести подачу полосы к стыковочному устройству перед чистовой группой клетей;
- обеспечить высокую скорость резки, моталки и высокую точность регулирования натяжения.

Анализируя литературные данные в работе [20] отмечено, что для реализации вышеприведенных требований необходимо применить следующее оборудование:

- устройство для сварки стыка специальной конструкции;
- высокоскоростной барабан или кривошипные ножницы;
- высокоскоростная моталка специальной конструкции.

В работах [21,22] отмечается, что для получения готовой продукции высокого качества, весьма перспективным является автоматизация технологического процесса и развитие существующих блоков управления механическим оборудованием. В данной работе отмечено, что в станах определенно старой конструкции регулировку технологических параметров осуществляют путем сравнения заданных и фактических значений, что является недостатком данных станов. В станах новой конструкции настройку стана выполняют путем использования математических моделей с момента поступления металла в НШСГП.

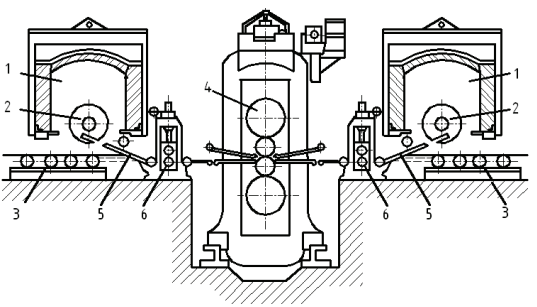
Анализируя материалы, приведенные в работах [21,22] можно сделать заключение, что технические и технологические параметры станов ближнего зарубежья не соответствуют уровню станов дальнего зарубежья и почти исчерпали свои возможности для производства тонкого листа высокого качества. Поэтому в странах СНГ идут поиски новых решений, которые позволили бы изготовлять высококачественные тонкие полосы сравнительно дешевыми способами. При этом развивается строительство мини-заводов для производства горячекатаных тонких полос[23,24].

По мнению авторов работы [12], одним из способов изготовление высококачественных горячекатаных тонких полос является использование станов Стеккеля (рисунок 1.1). Данный стан можно использовать вместо чистовой группы клетей. При использование данного стана прокатка в

черновой группе клетей осуществляется по традиционной технологии. В связи с этим на рисунке 1.1 черновые клети не приведены. Следует отметить, что черновая группа имеют клети с вертикальными и горизонтальными валками. В данных клетях прокатка осуществляется в реверсивном режиме. После прокатки в черновой группе промежуточная заготовка проходит через валки стана Стеккеля и наматывается на правую моталку. Моталки стана установлены в печи. При обратной смотке полос на левую моталку промежуточную заготовку деформируют заданным обжатием. После нескольких проходов на данном стане получают тонкие полосы требуемой толщины (1,2 – 2,0 мм) в виде рулона.

В работе [12] отмечено, что станы Стеккеля используются в основном для прокатки специальных марок стали, поэтому их производительность по сравнению с традиционными широкополосными станами (ШПС) значительно меньше, при этом состав оборудования упрощается. Следует отметить, что из-за прохождение прокатки полос в стабильных температурных условий на данном полосе отсутствует температурный клин. При этом между клетью и моталками стана возникающая натяжения полосы также является стабильным.

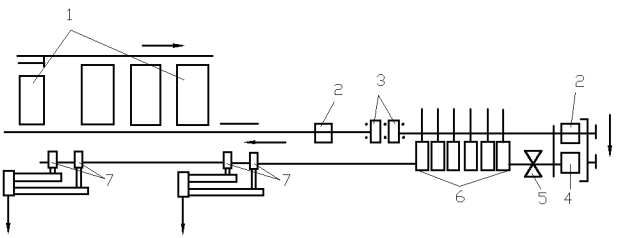
По материалам работ [25], при прокатке на стане Стеккеля разнотолщинность в продольном и поперечном направлениях минимальна и не превышает 0,03 мм. По мнению авторов работ [12,25], все это является очень важным для электротехнических сталей. К недостаткам данного стана относят тяжелые условия работы моталок и низкая производительность. Выше было отмечено, что моталки стана Стеккеля располагаются в печи, разогретой до температуры прокатки (1100 – 1150 °С).



1 – колпаковая печь; 2 – печная моталка; 3 – рольганг;
4 – чистовая клеть кварто; 5 – проводки; 6 – тянущие ролики
Рисунок 1.1 – Схема стана Стеккеля с моталками в печи

В настоящее время в дальнем и ближнем зарубежье используют различную схему компоновки традиционного оборудования НШПС[20].

Так в цехах фирм США используют противопоточную схему расположения оборудовании черновой и чистовой группы (рисунок 1.2). Применение данной схемы позволяет уменьшить площадь цеха и упростить некоторые агрегаты. При прокатке по данному способу применяют слябы толщиной 230 и 285 мм. Толщина прокатываемых листов равняется от 1 до 19 мм. При применение данной схемы производят смотку подкатов толщиной 45, 32 и 19 мм на промежуточных напольных моталках. После этого смотанный рулон передают на разматыватель, установленный в чистовой линии стана. Ножницы перед чистовой группой клетей используют для обрезки переднего конца полос и для регулировки длину полосы, поступающей в чистовую группу. Это позволяет для всех прокатываемых полос использовать сляб с максимальным размером и повысить производительность стана. Систему автоматического регулирования толщины и профиля полосы имеют чистовые клети стана. Длина цеха (230 м) по сравнению с обычным цехом (длина обычного цеха больше 500 м)сократился на 270 м, при этом капиталовложения уменьшился на 14 %, а текущие затраты – на 28 %. Производительность такого стана 1 млн. т/год.



1 – нагревательные печи; 2 – напольные моталки; 3 – черновая группа клетей; 4 – моталка-разматыватель; 5 – ножницы; 6 – чистовая группа клетей; 7 – моталки чистовые

Рисунок 1.2 – Схема НШПС с противоточным расположением черновой и чистовой групп клетей

Авторы работы [12] показали, что австрийская фирма «Фест-Альпине» выполнила более основательную разработку по компоновке традиционного оборудования стана. Данной фирмой построен в г. Линце реверсивный компактный широкополосный стан (ШПС) [27], содержащий вертикальную клеть дуо и две горизонтальные клети кварто с подогреваемыми моталками с обеих сторон (рисунок 1.3). В других вариантах стана может быть установлены три горизонтальные клети. В данном стане слябы толщиной 250 мм прокатывают в реверсивном режиме сначала в первой (черновой) горизонтальной клети. При этом валки

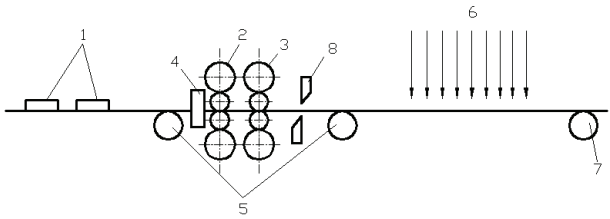
чистовой клети находятся в разведенном состоянии. После этого прокатку осуществляют нескольким проходом одновременно в обеих клетях. Далее осуществляют только чистовую прокатку полос до толщины 2 мм в одном горизонтальном клети стана. При этом валки черновой клети находятся в разведенном состоянии. Намотку полос осуществляют поочередно в одном из моталок. Используя индукторы производят нагрев барабан моталок до температуры 900 – 1000 °С. Следует отметить, что в трехклетьевом варианте дополнительную клеть кварто с черновым окалиноломателем устанавливают перед двухвалковой клетью. Данную клеть применяют для увеличения производительности комплекса.

В работе[12] приведенопо конструкции компактному широкополосному стануаналогичный ШПС 1420. Данный стан установлен в Канаде Производительность 500 тыс. т/год. Черновая группа клетей данного стана имеет также две реверсивные клети. В данных клетях толщина исходной заготовки может быть уменьшена от 150 до 10 мм. Следует отметить, что последние проходы в черновых клетях осуществляют с намоткой полосы на подогреваемые моталки. Окончательную прокатку осуществляют в чистовой группе по обычным режимам.

Анализ материалов работы [12] показывает, что удельный расход энергии превышает 2000 МДж на тонну стального проката в случае прокатки охлажденных после разливки литых заготовок. По мнению авторов работы [12], уменьшение удельного расхода энергии в 6-7 раз, т.е. 300-335 МДж/т, возможно в случае прокатки литых заготовок без охлаждения не ниже определенных температур (для стали не ниже 900 °С). Поэтому во многих прокатных компаниях используют совмещенный процесс, где непрерывная разливка металла на УНРМ и листовая прокатка в широкополосных станах совмещают в единую технологическую линию. Такое совмещение позволяет сэкономить тепловую энергию, с одной стороны, а также компактно располагая агрегаты в цехах повысить их производительность, с другой стороны.

Литературные данные показывают [28-45], что в настоящее время исследователи большое внимание уделяют проблемам совмещения широкополосных станов с машинами непрерывного литья слябов (МНЛС). В США построена первая одноручьевая установка (рисунок 1.4). Данная установка включает в себя МНЛС, а также промежуточную печь для накопления слябов и выравнивания температуры по его сечению (длина до 40 м). По мнению авторов работ [45], при отливке и прокатке тонких слябов (толщина до 50 мм) черновая группа клетей не требуется. В этом случае прокатку осуществляют только в чистовой группе клетей. Чистовая группаклетей имеет установку для гидросбива и четыре клети кварто. Следует отметить, что при совмещении непрерывной разливки с прокаткой ощутимо сокращается длина комплекса, снижается суммарная стоимость

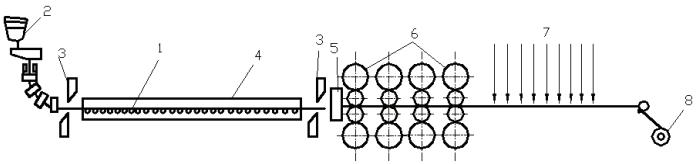
машины непрерывного литья слябов и стана для прокатки полос, уменьшается затраты на нагрев слябов. Однако такие комплексы имеют низкую производительность. Это связано с низкой скоростью литья слябов, по сравнению со скоростью прокатки. Во многих машинах непрерывного литья слябов скорость литья равняется 0,23 м/с, поэтому скорость прокатки в последней клети стана не превышает 4,6 м/с.



1 – нагревательные печи; 2, 3 – клети кварто; 4 – клеть дуо;
5 –подогреваемые моталки; 6 – душирующая установка; 7 – моталка;
8 – ножницы

Рисунок 1.3 – Схема двухклетевого стана с подогреваемыми моталками

Анализ материалов, приведенных в работах[28,30,42,45], показывает, что в США и Японии построен несколько установок с двумя МНЛС. Данные установки позволяют увеличить производительность прокатки(рисунок 1.5). При изготовление полос толщиной 2,5 мм скорость прокатки в последнем клети стана увеличена до 6,5 м/с. Использование двух установок для непрерывной разливки позволяет увеличить производительность с 800 тыс. до 1,5 млн. т/год. Однако, данная производительность существенно меньше, чем производительность традиционного НШПС. Известно, что производительность традиционного НШПС изменяется в пределах 3,6 – 6,0 млн. т.



1 – сляб; 2 – ковш; 3 – ножницы; 4 – печь; 5 – задающее устройство;
6 – непрерывный стан с клетями кварто; 7 – душирующее устройство;
8 – моталка

Рисунок 1.4 – Одноручьевая установка

В работах [30,45] показано, что в существующих совмещенных непрерывной разливки с прокаткой цехах имеется очень большое различие

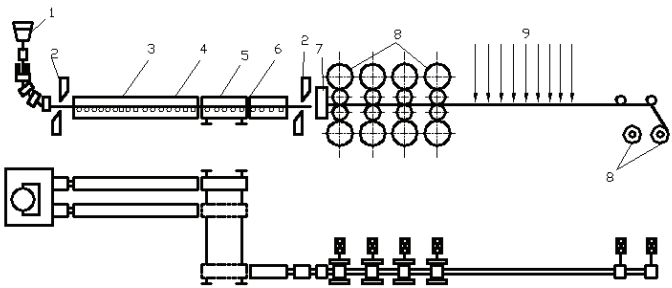
между скоростями литья и прокатки металла. Авторами работ [21,22] установлено, что непрерывное литье заготовок размером поперечного сечения 150×150 мм можно осуществлять со скоростями 4 – 7 м/мин, а прокатку таких заготовок со скоростями 8 – 15 м/с. На основе этих данных можно отметить, что скорости литья и прокатки отличаются приблизительно вдвое. В связи с получением таких данных можно сделать вывод, что до прокатного стана установка одноручьевого УНРМ не является рациональным. Поэтому приходится совмещать прокатный стан с несколькими ручьями УНРМ. Все это требует больших производственных площадей и значительных капиталовложений. Авторы выше приведенных работ отмечают, что сильное охлаждение заготовок происходит в случае прокатки с низкими скоростями. Этим теряются существенные преимущества совмещенного процесса.

Необходимо отметить, что затраты на строительство таких установок существенно ниже и равняется для одноручьевой установки 18 %, а для двухручьевой 27,5 % стоимости НШПС. По мнению авторов работы [30,45], в литейно-прокатных комплексах необходимо более полно использовать возможности прокатного оборудования, при этом отливая тонкие слябы на МНЛС необходимо увеличивать скорость разливки. В работе [45] показано, что при разливке слябов толщиной 50 – 80 мм скорость разливки равняется 3 – 7 м/мин, а при разливке слябов толщиной 20 – 40 мм скорость разливки увеличивается до 15 м/мин. По мнению авторов работы [30], состав оборудования листопрокатного комплекса полностью изменяться при использование тонких литых слябов. В этом случае определенно сокращается количество клетей и другие вспомогательные оборудования прокатного стана, снижается капитальные затраты и себестоимость продукции. Авторы работ [30,45] считают, что в настоящее время ведутся работы по отливке полос толщиной 1 – 8 мм. По их мнению, в перспективе будет разработана технология отливки таких полос со скоростью до 60 м/мин. В случае внедрение такой технологии с минимальными затратами будет осуществлена прокатка тонких полос. Следует отметить, что при использовании в качестве исходных заготовок тонких полос необходимо также обеспечить соответствующую мелкозернистую структуру металла с высокими механическими свойствами, а также требуемую разнотолщинность и плоскостность полосы.

Из материалов работы [39] видно, что при использовании планетарных станов достигается хорошее сочетание скоростей непрерывной разливки и прокатки. Комплекс с планетарным станом разработан фирмой «Круп» в Дуйсбурге. При прокатке тонких полос в этом комплексе, отлитый сляб со скоростью 1,5 – 4,0 м/с (толщина 80 мм) поступает в проходную печь длиной 30 м и нагревается до требуемой температуры. После этого с помощью задающих валков, металл подается в

планетарную клеть. Прокатку полос производят с обжатием не больше 10 – 20 % за один проход, при этом толщина уменьшается сразу до 2 мм (рисунок 1.6). Далее в прогладочном клети дуо, установленной за планетарной клетью, производят выравнивания толщины полосы в продольном направление и полученные полосы сматывают в рулоны.

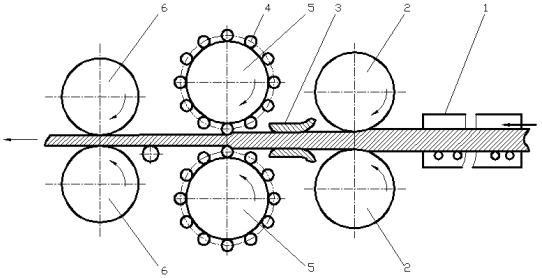
В планетарном стане рабочие валки малого диаметра собраны в сепараторе, при этом рабочие валки опираются на приводной барабан большого диаметра [12]. Вращение барабана в направлении прокатки приводит к быстрому вращению рабочих валков в обратном направлении за счет трения. При захвате и деформации металлов очаге деформации рабочих валков обжимается небольшая порция металла (рисунок 1.7). При этом заготовка деформируется с значительной суммарной деформацией. Суммарная деформация за один проход достигает 90 – 98 %.



1 – кристаллизатор; 2 – ножницы; 3,4 – печь подогрева; 5 – транспортное и распределительное средство; 6 – печь; 7 – задающее устройство; 8 – непрерывный стан с клетями кварто;9 – душирующее устройство; 10 – моталки

Рисунок 1.5 – Двухручьевая установка

Два ряда планетарных валков имеющий более совершенный планетарный стан предложен в работе [43]. В таком стане промежуточные валки вращаются против направления прокатки, а рабочие – в направлении прокатки. Такое вращение валков облегчает работу задающих валков и стабилизирует процесс.



1 – проходная печь; 2 – задающие валки; 3 – проводки; 4 – рабочие планетарные валки; 5 – опорные валки (барабаны); 6 – прогладочные валки

Рисунок 1.6 – Схема установки с планетарным станом

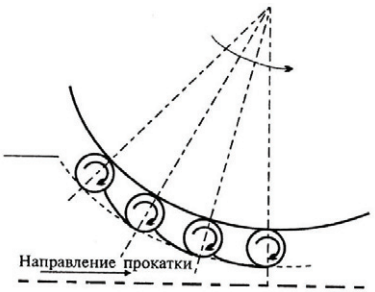


Рисунок 1.7 – Схема деформации металла при планетарной прокатке

Следует отметить, что площадь цеха, где установлен комплекс оборудования с планетарным станом и сталеплавильными установками, составляет 145×40 м [12]. Годовая производительность такого комплекса равняется 450 – 900 тыс. т в зависимости от ширины полосы. В большинстве случаев такие комплексы применяется в европейских странах и в США, а листопрокатном производстве стран СНГ их не используют. Это связано с тем, что прокатка полос на планетарном стане имеет два существенных недостатка. Первый недостаток связана собразованием большой продольной разнотолщинностив полосах после планетарной прокатки: при прокатке в планетарном стане каждый валок, заканчивая прокатку, оставляет после себя некоторый утолщенный участок. Частота образование этих участков зависит от расстояния между рабочими валками планетарной клети. Прокатка в следующей клети дуо не полностью выравнивает разнотолщинность полос. Второй недостаток связан с ненадежными прочностными свойствами и быстрым выходом из строя рабочих валков и сепаратора планетарного стана.

Анализ данных приведенных в работах [23,24] показывает, что фирма «Sendzimir» (США) разработал мини-завод с объемом производства 400 – 500 тыс. т/год. Данный мини-завод в своем составе имеет:

- две дуговые 100-тонные плавильные печи;
- одноручьевую МНЛС для непрерывной разливки заготовки толщиной 230 мм и шириной 800 – 1050 мм;
- туннельная печь для выравнивания температур по сечению заготовки;
- прокатный стан.

В состав стана входит черновая и чистовая группа клетей. При прокатке в черновой группе прокатка осуществляется в вертикальной клети, двух нереверсивных клетях дуо и планетарном стане. После выхода из черновой группы прокатка осуществляется в двух чистовых клетях кварто до конечной толщины 2 мм. Режимы «бесконечной» и по слябовой прокатки можно реализовать в данном комплексе.

Авторы работ [39,45] считают, в настоящее время не возможно существенно повысить скорость кристаллизации металла и тем самым увеличить скорость литья. По их мнению, прокатка с большими обжатиями в агрегатах, позволяющих деформировать с большими обжатиями за один проход, является перспективным направлением. Это связано с тем, что такой агрегат заменяет несколько традиционных прокатных клетей.

Совместная научно-исследовательская работа ученых МГТУ им. Н.Э. Баумана и инженеров ВНИИМЕТМАШ им. А.И. Целикова позволила в металлургическом заводе «Электросталь» внедрит совмещенный агрегат для литья и прокатки заготовок с размерами поперечного сечения 60×80 мм [30]. В данном агрегате сначала производят двухсторонное обжатие заготовки в планетарном стане до размера 11 – 14 мм, а затем осуществляют прокатку в непрерывной группе клетей.

В работе [30] показано, что маятниковые и циклоидальные станы можно применит вместо планетарных станов. По их мнению, в цветной металлургии в составе литейно-прокатных агрегатов можно использовать стан холодной периодической прокатки полос. Данный стан позволяет за один проход деформировать с обжатием в пределах 60 – 90%.

По мнению авторов работы [17], при изготовления тонких полос необходимо правильно выбирать размеры поперечного сечения слябов. Авторы данной работы считают, что для изготовления тонких полос можно было бы использовать слябы с размерами сечения, близким к сечению готовой продукции. Однако это может привести к снижению качество проката. Поэтому для получения готовой продукции высокого качества необходимо применить толстые слябы. При прокатке толстых слябов обеспечивается прокатка с коэффициентом вытяжки не менее 5-6, что способствует получению продукции высокого качества. Многие

технологий используя вышеприведенные данные выбирают размеры поперечного сечения слябов.

Авторы работы [45] считают, что несмотря на необходимость пятикратной деформации заготовки, при прокатке полос толщиной менее или более1 мм необходимо применит слябы толщиной более 5 мм. По их мнению, при прокатке полос толщиной 1 – 2 мм невыгодно использовать мощные прокатные станы для обжатия сляба толщиной 50 – 250 мм. Следует отметить, что использование мощного прокатного стана требует весьма больших затрат.

Путем исследования процесса прокатка тонких слитков авторы работы [34] отмечают, что при отливке тонкого слитка и осуществление последующей прокатки возникают трудности связанные с быстрым охлаждением тонкого сляба. Поэтому авторы данной работы предложили способ прокатки, включающий подогрев тонкого сляба перед прокаткой в широкополосном стане. Аналогичные способы применяют при осуществлении технологии CSP (Compact Strip Production - компактное производство полосы)на тонкослябовых литейно-прокатных агрегатах (ЛПА) [46]. Однако применение дополнительного нагрева приводить к увеличению себестоимости выпускаемой продукции. В работе [47] для устранения данного недостатка предлагают использовать совмещенный в одной установке процесс литья и прокатки.

Для совмещения в одной установке процесс литья и прокатки авторы работ [48,49,50] предложили валковые литейно-прокатные агрегаты (ЛПА). В данных агрегатах жидкий металл заливают в зазор между валками-кристаллизаторами. Авторами работ [48,49,50] предложенных литейно-прокатных агрегатах валки-кристаллизаторы выполняют две функции: с одной стороны они являются кристаллизатором, а с другой стороны деформирующим инструментом. Известно, что в прокатных станах валки выполняют являются только деформирующим инструментом).

По сведениям, приведенным в работах [51,52], двадцать лет тому назад произвели запуск первого мини-завода по производству полосового проката из тонких слябов. По мнению авторов работ [51,52], в настоящее время в мини-заводах стран дальнего и ближнего зарубежья осуществлено строительство литейно-прокатных агрегатов, где из отлитой тонкой полосы получают тонкие листы с повышенными качествами. Следует отметить, что разработка технологии отливки тонких полос осуществляется при жесткой конкуренцией на мировом рынке, необходимостью сбережение энергетических ресурсов и выполнением экологических требований к металлургическому производству [52].

Анализируя литературные данные [28-52], можно сделать вывод, что в настоящее время металлургические компаний начали выпускать горячекатаные тонкие полосы по уровню механических и геометрических

свойств, не уступающих или приближающихся к холоднокатаным. Это связано стремлением металлургических компании к более полному удовлетворению требований рынка при снижении затрат на производство.

Авторы известных работ [53,54] отмечают, что технологические режимы прокатки является важным фактором, определяющим качество листового проката. На основе этих выводов, можно сказать, что с целью повышения качества совершенствование технологических режимов прокатки листовой стали являются актуальной задачей. Оптимизация технологических режимов прокатки могут быть решены путем разработки и практического освоения новых станов, отводящих рольгангов и технологических способов прокатки листового металла.

1.2 Основные направления совершенствования отводящего рольганга

По мнению авторов работ [54,55,56], сложным агрегатом широкополосных станов горячей прокатки являются отводящие рольганги. Однако, немного работ посвящены изучению конструкции отводящих рольгангов, его роликов, надежности работы особо нагруженных элементов отводящего рольганга, срока службы рольганга.

Следует отметить, что ролики большинства известных отводящих рольгангов обеспечении индивидуальным приводом [2]. Для уменьшения массы и мощности привода существующих рольгангов, в этих рольгангах применяются ролики с наименьшим диаметром. При конструировании таких роликов учитывают условие прочности материала роликов [6].

Анализ литератур [4,8] показывает, что на отводящем рольганге стана 2000 Новолипецкого металлургического комбината (НЛМК) и НШСГП – 1700 Карагандинского металлургического комбината применяют ролики диаметром 300 мм. При этом длина бочки применяемых роликов превышает максимальную ширину рабочего валка стана на 200 мм.

Известно [3], что длина в странах СНГ применяемых рольгангов зависит от времени охлаждения полосы до требуемых температур смотки. При этом длина этих рольгангов возрастает с повышением скоростных режимов прокатки и толщины прокатываемых полос. Например, длина отводящего рольганга от последней клети чистовой группы до первой моталки стана 2000 НЛМК достигает почти 200 м. На данном металлургическом комбинате при производстве низколегированных сталей, для сохранения производительности стана, установили специальную моталку на расстоянии 290 м от последней клети чистовой группы. На стане 2000 Череповецкого металлургического комбината применили дополнительное устройство ускоренного охлаждения между первой и второй группой моталок. Поэтому длину рольганга до первой моталки сократили примерно на 100 м. Однако, по мнению авторов работ

[9,54] длина данного отводящего рольганга еще достаточно велика и приблизительно равняется 100 м.

Вследствие высокой требовании к качеству поверхности листа, хорошей способности пустотелых роликов сопротивляться износу при работе на трение, а также высоких их литейных свойств, в отводящем рольгангах НШСГП применяют пустотелые ролики с чугунной бочкой [55]. Следует отметить, что качество поверхности листов большое значение имеет особенно для высоко пластичных и нержавеющих марок стали, предназначенных для изготовления глубокой вытяжкой различных изделий. Известно [57,58], что для холодной прокатки и глубокой вытяжки не допускаются листы с грубыми рисками. Данные риски приводят к разрыву листа при холодной прокатке и при последующей холодной штамповке. Почти такие же требования предъявляются к подкату для автомобильного листа и жести.

В странах дальнего и ближнего зарубежье, кроме вышеприведенных роликов с несущей полой антифрикционной бочкой, применяют следующие типы роликов [9]:

- сплошные;
- с несущей осью и антифрикционным бандажом;
- с транспортирующими дисками.

В рольгангах первого поколения применяли литые или кованые сплошные ролики [55,59]. Данные рольганги имели большое отношение шага ролика к их диаметру, при этом в рольгангах были установлены ролики с маленьким диаметром (200÷220 мм). Эти ролики отличались простотой конструкции, высокой технологичностью и малой стоимостью. Следует отметить, что в анализируемые относительно короткие рольганги устанавливали небольшое количество роликов. Рольганги первого поколения также имели малую скорость транспортирования (9÷11 м/с). Поэтому, небольшой скоростью полоса проскальзывала ролики (0,2÷0,5 м/с) и относительно редко происходила поломка подшипников. В связи с этим скорость изнашивания роликов находилась в приемлемом уровне, при этом редко заклинивали ролики при дисбалансах из-за локального износа.

С применением в странах дальнего и ближнего зарубежья сравнительно скоростных рольгангов с малым отношением шага к диаметру (1,1÷1,4) и роликов сравнительно большого диаметра (около300 мм) появились новые проблемы при эксплуатации рольгангов. Это связано с тем, что в сплошных роликах существенно увеличился значимость следующих недостатков:

- высокий осевой момент инерции;
- большая материалоемкость;
- склонность к дисбалансу, из-за температурных деформаций при одностороннем нагреве.

По материалам, приведенным в работе [60], из-за вышеперечисленных недостатков практически прекращено применение роликов этого типа.

Авторы работы [61] полагают, что дальнейшее развитие конструкции роликов отводящего рольганга происходит в направлении уменьшения осевого момента инерции и материалоемкости. При этом, для рабочей поверхности роликов используются материалы со специальными триботехническими характеристиками. Необходимо отметить, что конструкция многих роликов сделан в виде цилиндрической бочки. Причем одинаково часто применяются варианты с несущей бочкой и варианты с несущей осью.

Весьма перспективные ролики с несущими бочками применяют фирмы Sack (ФРГ) и Davy Mc Kee (Великобритания) [63,64]. Данные ролики с стальными несущими бочками имеют антифрикционные покрытия. Следует отметить, что фирмы Schlomann – Siemag (ФРГ) и Nippon Steel (Япония) применяют ролики с несущей осью.

Необходимо отметить, что в фирме Davy Mc Kee используемому ролику аналогичный ролик с несущей бочкой был использован в рольгангах НШСГП стран СНГ [54]. Бочка данного рольганга изготовляется из стали с износостойким покрытием на основе никеля и хрома. Данное покрытие наноситься на поверхность бочки ролика методом плазменного напыления. Однако в связи со сложностью обеспечения требуемой прочности сцепления покрытия с подложкой, в странах СНГ в качестве материала бочки применили чугун СЧ 28-32 (ГОСТ 8509-57). Так в конструкции ведущего разработчика и производителя отводящих рольгангов стран СНГ, т.е. Алматинского завода тяжелого машиностроения (АЗТМ), в качестве материала бочки был принят вышеприведенный чугун. В последующем данный чугун был заменен на жаропрочный чугун ЖЧХН. Все ролики на заводе-изготовителе подвергаются динамической балансировке. Допустимый дисбаланс - не более 15÷20 Нм [61].

В работах [54,55] установлено, что на отводящих рольгангах широкополосных станов до недавнего времени не использовали ролики с транспортирующими дисками. По материалам вышеприведенных работ данные ролики широко используются на рольгангах толстолистовых станов. В настоящее время такие ролики работают на отводящем рольганге стана 1700 АО «Арселор Миттал Темиртау» [7].

Известно, что по схеме расположения роликов, отводящие рольганги подразделяют на четыре вида [55]:

1. Рольганги, ось роликов которых располагаются горизонтально перпендикулярно оси транспортирования;

2.Рольганги, последние ролики которых располагаются по схеме фирмы Davy Mc Kee (Великобритания), т.е. на длине 30÷50 м перед первой моталкой данные ролики располагаются с угловым смещением в

горизонтальной плоскости;

3. Рольганги, ролики которых располагаются по схеме фирмы United Engineering (США), т.е. ролики располагаются с угловым смещением в горизонтальной и вертикальной плоскостях;

4. Рольганги, ролики которых располагаются наклонно с уклоном в сторону моталок.

Первая схема расположение роликов отводящего рольганга характеризуется несложностью конструкции и обеспечивает сравнительно высокую начальную скорость смотки полосы на моталку при благоприятном соотношении геометрических параметров рольганга [54]. Основным недостатком данной схемы является отсутствие центрирующего воздействия на полосу. Данный недостаток сравнительно легко устраняется применением специальных центрирующих устройств. Например, в некоторых странах стран СНГ применяют управляющие линейки. Вследствие вышесказанного, первая схема установки роликов широко используются в дальнем и ближнем зарубежья [55].

Вторая схема расположение роликов отводящего рольганга, т.е. схема фирмы Davy Mc Kee позволила усовершенствовать первую схему и тем самым позволила позиционировать полосы за счет поперечной (по отношению к оси рольганга) составляющей силы трения. При транспортировке по данной схеме к длинной неподвижной линейке прижимают полосу ролики, установленные с перекосом в горизонтальной плоскости. При этом подвижной короткой линейкой дополнительно прижимаются полосы. Основным достоинством этих рольгангов является незначительное отличие данных рольгангов от первой схемы, что позволяет сохранить рольгангам подобной конструкций безотказность и долговечность.

На непрерывных широкополосных станах горячей прокатки стран СНГ в подавляющем случае применяют схему фирмы United Engineering. По мнению авторов работы [55], применение этой компоновочной схемы обеспечивает центрирования полосы, с одной стороны, за счет поперечной составляющей силы трения, с другой стороны, за счет скатывающей составляющей массы полосы. Анализ материалов работ [9,54,55] показывает, что при транспортировке полос толщиной более 2 мм использование этой схемы расположение роликов не позволяет достичь поставленной цели. Вышеперечисленных работахпоказано, что ролики с угловым смещением в вертикальной плоскости владеют прогрессирующим децентрирующим действием даже при идеальном соблюдении геометрии рольганга.

Авторы работы [62] провели на стане 2000 НЛМК измерение отметок верхнего положения бочек роликов отводящего рольганга, и установили, что не регулярное отклонения от номинала достигает 20 мм. Вследствие этого исходно центрированная полоса, попадая на рольганг, ролики

которого установлены с нерегулярными перепадами высоты с правой и левой стороны, децентрируется из-за неравномерной утяжки сторон полосы. Таким образом, при транспортировке полоса исходно децентрирована и будет имеет минимальную серповидность. В работе [62] сделанный анализ износа бочки ролика показало, что приподнятая его часть изнашивается в большей степени. Поэтому ролики с различными диаметрам и по своей длине уменьшают центрирующий эффект перекоса ролика в горизонтальной плоскости. Причиной этого является уменьшения линейной скорости поверхности бочки. По мнению авторов работы [62], в таком случае отсутствует эффект от перекоса в вертикальной плоскости. Связана с тем, что из-за износа ролика верхняя образующая становится горизонтальной через 2 ÷3 месяца эксплуатации рольганга.

Проведенный анализ подшипников отводящего рольганга позволила установить, что в странах ближнего и дальнего зарубежья в первых конструкциях отводящих рольгангов использовали двухрядные конические подшипниками [1-5].Однако к началу шестидесятых годов во многих цехах горячей прокатки отказались от применения таких подшипников. Причиной этого явилось то, что, с целью уменьшения осевого момента инерции и общей массы, слабо нагруженные ролики отводящих рольгангов выполняются с тонкими, податливыми в изгибном отношении цапфами (шейками). По этой причине при эксплуатации роликов в конических подшипниках и тем самым в цапфах возникают значительные нагрузки, существенно уменьшающие срок службы тел качения.

Следует отметить, что по вышеотмеченной причине единственным видом подшипников, применяемым в настоящее время, являются роликовые сферические подшипники [65]. По мнению автора данной работы, роликовые сферические подшипники имеют достаточно высокое качество и удовлетворяют требованиям надежности. К их недостаткам относят сравнительно высокую стоимость и дефицитность.

Непрерывные широкополосные станы первого поколения имели отводящие рольганги, в которых привод был сделан по групповой схеме – по парным [66]. По мнению авторов работы [67], в связи со сложностью уплотнения и смазки зубчатых пар, а также со сложностью проведение монтажных и демонтажных работ роликов, от этой схемы отказались в пользу принудительного без редукторного привода.

Автор работы [65] отмечают, что известны три варианта схем индивидуального без редукторного привода:

-с односторонним рядным расположением электродвигателей;

-с односторонним шахматным расположением электродвигателей;

-с двухсторонним шахматным расположением электродвигателей.

По мнению автора работы [65], наиболее компактным является одностороннее рядное расположение электродвигателей. Это связано с

тем, что такое расположение электродвигателей позволяет разместить все приводы на стороне стана. При этом освобождается место для трубопроводов системы ламинарного охлаждения полосы и обеспечивается хорошая доступность приводов при ремонте и обслуживании. Автор работы [65] отмечает, что на современных рольгангах существенно уменьшено шаг роликов. Это практически исключает возможность такого расположение электродвигателей. Полагают [65], что применение электродвигателя переменного тока малого диаметра устраняется данный недостаток. Например, в некоторых зарубежных рольгангах (рольганг фирмы Schlomann – Siemag) применяется электродвигатели переменного тока малого диаметра.

В рольгангах стран дальнего и ближнего зарубежья, с целью рационального размещение электродвигателей постоянного тока большого габаритного размера и сохранение доступности для обслуживания, использовано одностороннее шахматное расположение электродвигателей [65]. Данная схема в настоящее время в рольгангах стран СНГ является общепринятой.

По материалам, приведенным в работах [54, 55], на рольганге стана 2000 НЛМК конструкции АЗТМ впервые было использовано двухстороннее шахматное расположение электродвигателей. В данных работах отмечено, что эта схема не получила широкого распространения. Это связано с тем, что при таком расположение электродвигателей сложным является доступ к приводам со стороны машинного зала.

Необходимо отметить, что на непрерывных широкополосных станах горячей прокатки первого поколения прокатку производил с постоянной скоростью [54]. По этой причине не регулировали скорость перемещения полосы на отводящем рольганге и использовали простые и дешевые приводы переменного тока с асинхронными электродвигателями.

Известно [2,54,55], что на сравнительно новых станах скорость прокатки стали варьировать в широких пределах (9 – 30 м/с). Это привело к необходимости регулирования скорости перемещения полосы по рольгангу. На момент появления этой проблемы на всех широкополосных станах применяли привод постоянного тока.

Из материалов, приведенной в работе [68], видно, что в последние десятилетия за рубежом более широкое применение получила приводы переменного тока с тиристорными системами частотного регулирования. Простые, дешевые и высоконадежные асинхронные электродвигатели применяют в данных приводах. По сравнению с массой двигателей постоянного тока, масса этих двигателей в несколько раз меньше. Это позволяет за счет применение двигателей фланцевого исполнение и крепления его непосредственно к подшипниковому узлу ролика значительно упростить трансмиссию. По стоимости и сложности выполнение применяемые приводах переменного тока тиристорные

преобразователи мало отличаются с аналогичными системами для приводов постоянного тока. Авторы работы [68] отмечают, что в настоящее время систему частотного регулирования используют в своих рольгангах фирмы Davy Mc Kee (Великобритания) и Schlomann – Siemag (ФРГ).

Следует отметить, что в настоящее время широко используют два типа охлаждения отводящих рольгангов [54, 55]. Это душирующие системы и системы внутреннего охлаждения. Душирующие системы в виде коллекторов располагаются параллельно роликам отводящего рольганга. В коллекторах имеются отверстия для подачи воды на ролики и горячекатаные полосы. Коллекторы иногда снабжают насадками в виде сопла, цилиндрических и плоских форсунок. Это необходимо для лучшей организации струи. Коллекторы устанавливают между роликами или под ними, а иногда используют комбинацию двух вариантов. Напорные и канализационные магистрали, а также насосные станции являются составными частями системы охлаждение. В вышеприведенных работах отмечается, что в системе охлаждения имеет достаточно большой расход воды. В зависимости от количества роликов расходуется 700÷1200 $м^3$/ч воды.

В работе [54, 55] отмечено, что при прокатке некоторых марок сталей используется высокая температура смотки. По этой причине используют вынужденное отключение душирующих систем охлаждения роликов отводящего рольганга. Использование постоянно изменяющихся режимов охлаждение может привести к множественным температурным поломкам роликов. По материалам приведенным вышеприведенных работах переход на другую марку часто происходит без паузы. Авторы работ [54, 55] отмечают, что душирующие системы охлаждения роликов и горячекатаных полос, применяемые с странах СНГ используются и во всех зарубежных рольгангах.

Автор работы [65] отмечают, что на отводящих рольгангах используются централизованные системы смазки подшипников. Централизованная система смазки подшипников состоит из 4-5 масло станций с дублированными приводами. Через штуцеры в корпусах подшипниковых узлов или их крышках осуществляется подвод смазки к подшипникам. Используя напорные трубопроводы подают к штуцерам смазку. В работе [65] отмечено, что на рольгангах фирм дальнего зарубежья применяют быстроразъемные соединения и автоматические клапаны имеющие гибкие шланги. Разводку напорных трубопроводов по внутренним поверхностям рам рольганга, с подсоединением их к подшипниковому узлу через уплотненные отверстия в окнах рам и нижних поверхностях корпусов подшипников предусмотрели инженеры АО «АЗТМ» при разработке рольгангов нового поколения. При монтаже ролика автоматически происходит соединение подшипникового узла с

системой смазки. Все это позволяет исключить отказы из-за отсутствия связи с системой и значительно сокращает время на замену ролика.

Анализ литератур [69-103] показал, что в области совершенствования рольгангов НШСГП защищенные охранными документами технические решения посвящены:

- вопросам повышения надежности работы роликов отводящего рольганга;
- улучшению условий работы роликов отводящего рольганга;
- развитию способов управления работой рольгангов с применением электронно-вычислительных устройств.

Из проведенного анализа видно, многочисленные изобретения в этой области сделаны в странах СНГ, Японии, ФРГ. Анализ изобретений за последние пятьдесят лет показывает, что важнейшей и сложной задачей НШСГП является повышение надежности работы его отводящего рольганга. Для повышения срока эксплуатации роликов предложены различные конструкции роликов [69,71,75,76,89-92,94-99,101,103]. Например, ролики с профилированной бочкой, выполненной в виде чередующихся цилиндров большего и меньшего диаметра и с составными бочками и т.д. Следует отметить, что из кольцевых элементов состоят ролики с составными бочками. Данные кольцевые элементы непосредственно контактируют с транспортируемым горячим металлом. Кольцевые элементы сделаны из керамических материалов или различные покрытия имеющих металлических материалов.

Для увеличения надежности работы роликов, уменьшения его стоимости и трудоемкости ремонтных работ, предложены конструкции сборных роликов [76,95]. Данные ролики состоят из вала и рабочей поверхности. Рабочая поверхность нам стана стальной легкозаменяемой полосой.

В Японии и ФРГ разработаны различные материалы для нанесения покрытие на бочки роликов. Данные покрытия позволяют защитить ролик отводящего рольганга от износа и трещинообразования [75,86,87,90,91,94]. Для защиты от трещинообразования используют специально созданные профиля в виде канавок определенной формы на поверхности ролика и применяют упрочнение лазерным лучом. При этом от тепловых напряжении появляющие трещины распространяются в направлениях, не влияющих на выход роликов из строя.

Повышению надежности рольгангов способствуют технические решения, предложены в работах [77-82,100]. Требуемая надежность достигается путем совершенствования конструкции привода. Однако, при этом существенно усложняется конструкция отводящего рольганга. Автор работы [65] отмечает, что выход из строя элементов привода отводящих рольгангов НШПС в большинстве случаев связан с недостаточным уровнем технического обслуживания, особенно не обеспечением

удовлетворительной смазки подшипниковых узлов. Все это приводит к быстрому выходу из строя подшипников и эластичных оболочек муфты.

Ряд работ посвящены проблемам центрирования полосы при транспортировке полос на отводящем рольганге [84,89,93]. В работе [89] получено авторское свидетельство на конструкцию буксы ролика отводящего широкополосного стана. В данном буксе ось расточки сделана со смещением относительно параллельных опорных плоскостей в соответствии с заданной величиной перекоса. Следует отметить, что буксы изготовляются сравнительно сложной технологией. Автор работы [54] отмечает, что только листов толщиной до 2 мм можно производит центрирования предлагаемым способом центрирование перекошенными роликами. По его мнению «желоб» исчезает за 2 – 3 месяца эксплуатации отводящего рольганга.

Для уменьшения износа роликов, сокращение выхода их из строя и тем самым для увеличения надежности работы отводящих рольгангов НШСГП в работе [59] предложен способ транспортирования горячекатаных полос. При применении данного способа на отводящем рольганге с определенным шагом устанавливают холостые ролики, снабженные подъемными механизмами. Холостые ролики перемещают в плоскости, перпендикулярной оси рольганга при захвате полосы моталкой. Такое перемещение продолжается до выхода полосы из контакта с остальными роликами. Следует отметить, что пока задний конец полосы не выйдет из последней клети стана, на полосу будет действовать натягивающее напряжения между клетью и барабаном моталки. В этот период только подъемные ролики в качестве поддерживающих роликов работают на рольганге. После выхода конца полосы из последней клети данные ролики опускаются в исходное положение. Так как часть роликов не имеют контакт с транспортируемой полосы, их износ уменьшается, а качество полосы увеличивается.

Авторы работ [78,79] предложено отводящий рольганг листопрокатного стана, где часть роликов приподняты над уровнем прокатки на 20 мм. По мнению авторов данных работ, наиболее рациональным является подъем торцов рядом стоящих секций. В этом случае, после захвата переднего конца моталкой, осуществляется натяжение полосы задним его концом, которой еще не вышел из последней клети прокатного стана. В работе [104] отмечается, что предложенный отводящий рольганг внедрено на НШПС 1700 АО «Арселор Миттал Темиртау» в 1989 году и применялся до 1995 года. В результате применение данного отводящего рольганга средняя скорость износа бочек роликов уменьшился с 0,11 мм до 0,045 мм в сутки. Анализ полученных результатов показал, что количество сильно изношенных роликов возросло с 17 % до 49 %. Таким образом, применение нового отводящего рольганга и тем самым нового способа транспортирования привело к медленному

износу бочки ролика в процессе эксплуатации. В результате количество заменяемых роликов снизился с 30 до 15 – 20 штук в месяц, а годовой расход уменьшился на 100 и менее штук.

Следует отметить, что технико-экономический эффект от использования вышеперечисленных патентов и авторских свидетельств частично устранили недостатки транспортировки полос на отводящем рольганге, уменьшили расходы на закупку запасных частей и на проведение ремонта. Однако некоторые проблемы не устранены. К таким недостатком можно отнести изгиб передних концов полос при транспортировке их по рольгангу, соответствие скоростей полос и роликов, дальнейшее сокращение расходов на восстановление вышедших из строя роликов, а также большой объем ремонтных работ. В настоящее время устранение вышеперечисленных недостатков является актуальным вопросом.

В двадцатом веке в странах СНГ единственным заводом-изготовителем отводящих рольгангов НШСГП являлся АО «АЗТМ» [54,55]. На данном заводе по следующей технологии производили изготовление роликов:

- литье чугунных бочек роликов;
- термическая обработка отливок;
- механическая обработка бочек;
- литье, механическая обработка ступиц и цапф;
- посадка ступиц в бочки;
- сборка роликов;
- статистическая и динамическая балансировка.

Используя ТУ 24-I-09-3I8-79 (АЗТМ) осуществляли литье бочек роликов отводящих рольгангов НШСГП [54,55]. При этом из специального низколегированного чугуна марки ЖЧХН отливали бочки роликов. Легирование хромом и никелем в печи и модифицирование ферросилицием ФС-75 в ковше являлся отличительной особенностью изготовление чугуна ЖЧХН. Химический состав чугуна ЖЧХН представлена в таблице 1.1.

В индукционной печи из шихты с использованием хромоникелевого или передельного чугуна выплавляли чугун ЖЧХН [54,55]. При температуре 1400÷1420°С производиливыпуск готового чугуна из печи. На центробежных литейных машинах осуществляли отливку бочек рольганга. Частота вращения формы равнялся 650÷700 об/мин, а температура заливки форм составлял 1300÷1360°С.

Таблица 1.1 – Химический состав чугуна ЖЧХН, %

C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S
3,1÷3,4	1,5÷1,7	0,65÷0,80	0,3÷0,4	0,6÷0,9	<0,2	<0,1

Из материалов работ [5-9,54,106] видно, что к отливкам предъявляются следующие требования:

- твердость отливок должна изменяться в пределах НВ 170-241;
- предел прочности должно равняться 350 МПа и более.

Используя заводскую технологическую инструкцию ТМ-ПТЛ-84 и в зависимости от требуемой твердости отливки бочек термически обрабатывают. По мнению автора работы [54] целью термической обработки являются:

- снятие внутренних напряжений, возникающих в процессе затвердевания;
- повышение механических свойств;
- улучшение обрабатываемости.

В работе [55] отмечено, что механическую обработку бочек роликов осуществляют на токарных станках, после чего производят горячую посадку ступиц с цапфами.

Следует отметить, что согласно технологической инструкции АО «Арселор Миттал Темиртау» [104], на отводящем рольганге стана 1700 допускается выход из строя до 10% роликов, т.е. около 40 штук. По материалам приведенной в работе [104] на стане НШПС 1700 количество вышедших из строя роликов достигает до 40 штук, а в некоторых случаях доходить до 300 штук.

Авторы работы [105] отмечают, что при прокатке автомобильных листов, трансформаторные и других сталей на стане 2000 НЛМК инженеры цеха особое внимание уделяют работе отводящего рольганга. Инженеры НЛМК правильно считают, что неисправимые поверхностные дефекты горячекатаных полос при дальнейшей их холодной прокатке дают большое количество царапин на поверхности холоднокатаных полос. При этом количество дефектов горячекатаных полос очень сильно зависит от количества заклиненных роликов. В связи с этим инженеры завода смогли на стане 2000 НЛМК внедрить организационно-технических мероприятий, позволяющих за каждую смену на отводящем рольганге произвести замену только 2 не работающих роликов из 600 штук.

Сотрудниками Казахского национального технического университета (КазНТУ) на НШПС 1700 АО «Арселор Миттал Темиртау» собранные материалы доказывают сложность поддержания отводящего рольганга в рабочем состоянии [7,8]. Согласно этим данным на стане 1700 каждый месяц заменяли не менее 30 штук роликов из-за их поломок и не менее 300 штук в год.

Из материалов, приведенной в работе [106], следует, что во много раз отличается годовой расход роликов установленных на отводящем рольганге стран СНГ. Так, транспортировка полос на вновь установленном отводящем рольганге с соблюдением всех эксплуатационных требований

приводит к минимальной замене роликов. При такой эксплуатации отводящего рольганга НЛМК заказывает у АО АЗТМ минимальное количество запасных роликов (менее 100 штук в год). В последующем количество заменяемых роликов резко увеличивается до 300-350 штук в год, что приводит к полной замене отводящего рольганга. Известно, что конструкция отводящего рольганга с годами значительно меняется. Поэтому замена морально устаревшего оборудования на новое оказывается вполне оправданной.

В работах [5-9,54,106] отмечается, что многочисленные исследования, проведенные сотрудниками КазНТУ на НЛМК и АО «Арселор Миттал Темиртау» позволили установить среднею скорость износа бочек роликов и выявить зависимость количества выхода роликов из строя от их расположения по длине рольганга. Исследователями КазНТУ проведенные экспериментальные исследования позволила выявить, что на НШПС 1700 «Арселор Миттал Темиртау» среднем за сутки изнашивается 0,11 мм металла поверхности бочки ролика. При этом, для новых роликов диаметром 285 –300 мм износ поверхности роликов за сутки равнялся 0,09 –0,12 мм, для средней степени изношенных роликов диаметром 285 – 270 мм износ за сутки составлял 0,07 – 0,055 мм, а очень много временив эксплуатации находящиеся ролики диаметром 270 – 255 мм за сутки изнашивались на 0,050 – 0,030 мм. На основе проведенных исследовании сделан вывод, что новые ролики рольганга диаметром 300 мм испытывают большую нагрузку. Поэтому у них наблюдается наибольший износ металла чугунной бочки. Авторы вышеперечисленных работ установили, что скорость износа снижается при уменьшении диаметра роликов во время эксплуатации.

Авторы работ [5-9,54,106] провели наблюдение за работой отводящего рольганга НШСГП-1700 АО «Арселор Миттал Темиртау». Проведенное исследование показало, что многочисленные ролики выходят из строя после короткого времени эксплуатации. Определенное количество роликов некоторое время эксплуатируется без отказа. Однако, после износа бочки на несколько миллиметров на поверхности роликов появляются трещины и немного спустя ролики разрушается. Следует отметить, что ощутимое количество роликов имеют высокую стойкость. Выход их из строя происходит путем постепенного изнашивания бочки до толщины 3,5 – 5 мм. По мнению авторов работ [5-9,54,106] причиной выхода из строя почти не изношенных роликов являются, с одной стороны условия эксплуатации, с другой стороны, наследственные дефекты процесса изготовления.

Анализ литературы [54,55] показывает, что усовершенствование работы отводящих рольгангов существующими способами не позволяют резко увеличить их работоспособности. По мнению авторов работ [54,55], улучить качество перемещаемых полос и срок службы роликов можно

путем применение отводящих рольгангов принципиально новой конструкции. Например, применение рольгангов с воздушной подушки в прокатном производстве.

Следует отметить, что нашло широкое применение, особенно в военной технике, использование воздушной подушки для автономных транспортных средств типа кораблей на воздушной подушке [107,108,109]. Данные транспортные средства являются летательные аппараты с относительно малой (до нескольких метров) высотой подъема. Они перемещаются над поверхностью воды или суши с большими скоростями. При этом анализируемые транспортные средства имеют от нескольких десятков килограмм до многих сотен тонн общий вес. На этих транспортных средствах устанавливают мощные вентиляторы или компрессоры для создания между корпусом аппарата и поверхностью воды или земли слоя сжатого воздуха. В данных аппаратах путем создания гибких шторок вокруг корпусов кораблей и оборотного использования в системе компримированного воздуха достигают снижение расхода воздуха.

Маленькие силы трения или их отсутствие при перемещении по горизонтальной поверхности является достоинством аппаратов на воздушной подушке [109]. Все выше перечисленные преимущества привлекает многих исследователей для применения принципа воздушной подушки в технике, особенно в прокатном производстве. Следует отметить, что для расширения скоростных возможностей железной дороги некоторые изобретатели стараются совместить воздушную подушку с рельсовым транспортом [110]. Однако эти идеи были опробованы только в лабораторных условиях.

Путем проведение литературного обзора и патентного поиска нами были найдены сведения о промышленных транспортерах, в которых в той или иной мере используется принцип воздушной подушки. Нами из литератур найденные устройства применяются в самых различных отраслях промышленности.

По своей конструкции большинство устройств представляют собой платформы, приспособленные для перемещения на них различных грузов. Данные платформы имеют жесткую конструкцию [111]. Конструкция нижней части поддонов является основным отличием этих платформ. Например, для преодоление сравнительно больших неровных поверхностей, в патенте [112] используется диско образная опора с кольцевой резиновой гармошкой.

По мнению авторов работы [113], снижение расхода воздуха является основной проблемой эксплуатации платформы. Это связано с большими удельными нагрузками на площадь опоры платформы. Поэтому в работах [113,114] предлагаются применить многочисленные цилиндрические камеры, разделенные ограждениями. Для преимущественного

перемещения платформы в одном направлении предлагают угол наклона ограждений делать неодинаковым. Авторы данных работ считают, что все это позволит создать реактивную воздушную струю.

Предыдущему изобретению аналогичные изобретения предлагаются в работах [115,116]. В данных работах предлагаемые ленточные конвейеры отличаются только деталями конструкции. Во многих устройствах от общецеховой системы при помощи гибких шлангов подается компримированный воздух к транспортирующим платформам. Следует отметить, что только в отдельных конструкциях установлены индивидуальные электрические вентиляторы. Гибким кабелем осуществляют подачу электрической энергии к установкам.

В работах [117,118] предлагают использовать другой вариант транспортеров на воздушной подушке как пневматические столы. Пневматические столы предназначены для транспортирования плоских объектов ограниченной ширины. Они имеют плоскую рабочую поверхность и сопла для подачи сжатого воздуха. В пневматических столах стационарными установками производится компримирование воздуха. При этом подачу сжатого газа осуществляют по коробам. В работах [117,118] отмечается, что непосредственно под рабочей поверхностью стола располагается емкость для накопления сжатого воздуха. В пневматических соплах используемая сопла могут иметь разнообразную форму. Следует отметить, что из ряда пневматических столов с боковыми бортами быть сформированы линейные транспортеры. Пневматические столы устанавливаются в единый желоб. Создание равномерного давления по всей площади является основной проблемой при транспортирования листов малой жесткости, как бумага или горячее плоское стекло [117,118]. Данная проблема решается тем, что вокруг сопла подачи сжатого воздуха делают щели для его отвода. Таким образом, в каждой зоне создается давления относительно малой площади. Количество таких зон может быть очень большим и перекрывать всю площадь транспортера.

В работах [119-123] предлагается устройство для транспортирования жестких тяжелых грузов. Данные изобретения направлены на уменьшение расхода воздуха. Проблема решается путем создания приспособлений, в котором сопла открываются в момент подачи на них транспортируемого груза.

В конце двадцатого века в странах дальнего зарубежья появились изобретения на применение принципа воздушной подушки непосредственно в прокатном производстве. Создание бесконтактной системы транспортирования полос металла в линиях отделки или травления является основной задачей, решаемой в этих устройствах. Так, в патентах [124-128] представлены устройства транспортирование полос, располагаемых в закрытых кожухах. Следует отметить, что одновременно на обе стороны полос через специальные сопла производят подачу газа. В

устройстве есть возможность изменение угла наклона сопел для создания оптимальных условий перемещения проката.

Необходимо отметить, что в технической литературе имеется некоторые примера использования воздушной подушки в прокатном производстве. Так в работе [12] описана конструкция различных пакетировщиков для собирания в пакет листов жести с легко травмируемой поверхностью. При применение пакетировщиков с помощью вентилятора воздух нагнетают в пространство между столом, падающим листом и бортами. Используя заслонку производят регулирование толщины воздушного потока примерно равной 40 – 80 мм. Давление воздуха позволяет удерживать лист на весу до тех пор, пока лист дойдет до упора. Устройство этого типа используют в агрегатах поперечной резки жести цеха холодной прокатки.

В работе [55] отмечено, что фирма Мицубиси (Япония) использует лабораторный прокатный стан с транспортером на воздушной подушке. Такой транспортер необходим для перемещения стальной полосы толщиной 1,2 мм и шириной 1200 мм со скоростью до 13 м/с. Данный транспортер имеет отдельные секций длиной около 1 м. С помощью в линии стана установленных индивидуальных вентиляторов воздух подается в транспортер. Два щелевых сопла имеет верхняя рабочая поверхность транспортеров. Данные сопла расположены поперек движения полосы и направленных навстречу друг другу.

В работах [129,130] ролики отводящего рольганга предлагают изготовлять с ручьями, а в ручьях размещать трубки для подачи сжатого воздуха. При этом, с помощью этого ролика навстречу транспортируемой полосы подается воздух, это предотвращать удары переднего конца полосы о ролик. По материалам данных работ, скорость движение воздуха зависит от толщины полосы и скорости движения полосы по рольгангу.

С целью транспортировки нагретых или охлажденных металлических полос на воздушной подушке в работе [131] предложено оригинальное устройство. Данное устройство можно применять для транспортировки полос в непрерывных агрегатах термообработки, охлаждения, очистки, травления и др. Предлагаемое устройство имеет несколько насосов для подачи на обе поверхности полосы струи газа повышенного давления. Данные насосы установлены на линии движения полосы. Следует отметить, что транспортируемая полоса размещается в замкнутом кожухе с избыточным давлением. Регулировку давление производят боковыми затворами. Авторы данной работы описали конструкцию установки на воздушной подушке, с помощью который осуществляют транспортировку полос, а также схему расположение оборудования и систем для обеспечения его работы.

Оригинальное устройство предложено в работе [132]. Данное устройство предназначено для транспортирования полос. В состав данного

устройства входит вдоль линии транспортирования расположенные и ориентированные поперек полосы форсунки с целевыми соплами, а также трубопроводы для подвода NH к каждой форсунке. В данной работе поочередным наклоном в противоположные стороны смежных форсунок предлагается обеспечивать центрирование полос.

Для транспортировки тонких горячекатаных металлических полос, в работе [133] предложен отводящий рольганг. Данный рольганг состоит из роликов и замкнутого канала, а также в данный канал несущую среду (газ или жидкость) под давлением подающего верхнего и нижнего ряда сопел. По мнению авторов данной работы, несущий газ или жидкость необходимо подавать со скоростью существенно выше, чем скорость транспортируемой полосы. Следует отметить, что в данном рольганге сопло распределяют равномерно, при этом их наклоняют вдоль сужающегося по направлению транспортировки полос канала. Шиберы для регулирования размеров поперечного сечения транспортируемого канала устанавливают на входной и выходной сторонах устройства. Авторы данной работы рекомендуют шиберы выполнят в виде трубки Вентуру. Это необходимо для повышения эффективности транспортировки и для снижения потери транспортирующей среды. Из материалов данной работы видно, что устройство расположено между двумя прокатными клетями или позади последней клети стана. Устройство с транспортирующим каналом длиной 30 м, шириной 1800 мм и высотой 75 мм приведено в работе в качестве примера. Скорость подачи несущей среды составляют 25 м/спри давлении 15 – 20 бар. Необходимо отметить, что при работе стана одновременно осуществляется транспортировка полос и их охлаждение до 300 – 400 °С с начальной температуры ~ 900 °С.

Авторы работы [134] предложили устройство с газовой подушки для перемещения полосы в линиях прокатки и отделки. В данном устройстве опоры движущейся полосы располагаются по бокам подъемно-опускающегося ролика. Из данных, приведенной в этой работе видно, что в начале смотки полосы на моталку ролик находится в верхнем положении для поддержание полосы при ее движении. После окончание заправки и увеличения скорости перемещение полосы ролик опускается в седло между опорами. После этого в щелевые сопла подают газ под большим давлением. Это приводит к образованию газовой подушки с давлением. Следует отметить, что по бокам бочки ролика имеется бурты для центрирования полосы.

Устройство для создания газовой подушки предложено в работе [135]. Данное устройство обеспечивает движение полосы скольжением. Предложенное устройство состоит из двух в разных местах расположенных щелевых сопел и плит с выпуклой поверхностью. Щелевые сопла размещены по ходу движения полосы, а плиты располагаются между ними. Следует отметить, что полоса огибает

выпуклую поверхность плиты при движении, при этом подымается над ней за счет создания газовой подушки. Газовые подушки создаются в результате быстрого перемещения в противоположном направлении газовых потоков. Газовые струи выходят из сопел под большим давлением.

В работе [136] предложено оборудование для бесконтактного перемещения листа. При применение данного оборудования бесконтактное перемещение полосы из магнитного металла осуществляют за счет применение воздушной подушки. Воздушная подушка создается расположенными под полосой форсунками. Форсунках сделаны щелевые сопла, при этом они размещены перпендикулярно направлению движения полосы. Длина сопел сделан большим чем ширина полосы. Следует отметить, что между соседними форсунками установлены электромагниты или постоянные магниты. Гребенке с обмотками вокруг зубьев похожа вертикальное сечение магнитов, причем к плоскости полосы параллельна плоскость обмоток. Магниты располагаются так, что кромки полосы проходят над их нейтральной осью. При смещении полосы от устойчивого положения дисбаланс действующего на него магнитных сил приводит к появлению силы, направленной против появившегося смещения. При значительной мощности магнитов смещение полосы устраняется. Необходимо сказать, что давления, создаваемое воздушной подушкой компенсирует силы притяжения полосы к магнитам.

Для приподнимания полосы в сушильных и подобных технологических устройствах в работе [137] предлагается новое устройство. Данное устройство имеет две и более камер с соплами. Следует отметить, что сопла установлены над и под проходящей полосой и направлены в направлении перемещения полосы. Оси выходных отверстий верхних сопел отклонены от плоскости в направлении перемещения полосы на угол α, а линия, соединяющая нижние края выходных сопел парных камер, отклонена от плоскости полосы на угол β. В задней части камер сделаны надставки. Надставки оснащены внутренними наружными отражающими поверхностями аэродинамической формы. Надставках сделаны вспомогательные сопла. Оси выходных отверстии сопла отклонены от вертикальной оси, перпендикулярной к плоскости проходящей полосы, на угол от -20° до +20°.

Авторы работы [54,55] считают, что применение воздушной подушки при транспортировании горячекатаного листа, прокатанной на НШСГП имеет большую перспективу. Однако, из известных конструкций сложно выбрать наиболее рациональную для транспортирование горячекатаных листов, удовлетворяющее условия эксплуатации на действующем прокатном стане НШСГП-1700АО «Арселор Миттал. Основными недостатками вышеописанных конструкций отводящих рольгангов являются:

1. За счет большой скорости газового потока продольное перемещение полос ;

2. Сложность конструкции, изготовления и эксплуатации предлагаемых вариантов устройств.

3. Отсутствие принудительного жидкостного охлаждения горячекатаных полос, совмещенного с транспортированием на воздушной подушке.

Сложная конструкция предлагаемых устройств исключает реальное применение их на прокатном производстве.

1.3 Температурный режим прокатки и основные закономерности формирования структуры в металлах полос из углеродистой стали

Известно [138], что правильный выбор температуры окончания прокатки и смотки полос является одним из важных моментов разработки технологии прокатки. При правильном выборе температуры прокатки и охлаждения будет обеспечиваться прохождение благоприятных структурных превращений на отводящем рольганге прокатного стана. Полосы подвергают быстрому охлаждению с помощью душирующих устройств после выхода из чистовых групп клетей и транспортировки по отводящему рольгангу [139]. Отводящий рольганг расположен между чистовой группой клетей и моталками.

В работе [140] все применяемые устройства принудительного охлаждения в зависимости от направления подачи воды и ее давления разделили на следующие виды:

- устройства с верхнейструевой подачей воды низкого (0,2 – 0,4 МПа) давления;
- устройства сверхнейструевой подачей воды высокого (1,0 – 1,7 МПа) давления;
- устройства с ламинарной подачей воды низкого давления (до 0,03 МПа);
- устройства с нижнейструевой подачей воды низкого (0,2 – 0,4 МПа) давления;
- устройства с нижнейструевой подачей водывысокого (до 1,0 МПа) давления.

Душирующие устройства, выполненные в виде труб с отверстиями, чаще всего используют в качестве рабочих органов в верхних устройствах охлаждения со струевым способом подачи воды [140]. В данном устройстве подачу воды осуществляют из магистрального трубопровода. В анализируемом устройстве коллекторы устанавливают на высоте 750 – 1500 мм над уровнем осей роликов рольганга.

Применение верхней струевой системы охлаждения с низким давлением дает возможность произвести мягкое охлаждение

горячекатаных полос [140]. Однако низки коэффициент теплоотдачи имеет данное устройство. По мнению авторов вышеприведенных работ, большим недостатком этих систем является то, что сопла с небольшими выходными отверстиями в коллекторах при недостаточной очистке воды засоряются.

Открытыми или закрытыми камерами снабжены верхние устройства с ламинарным способом подачи воды [140]. Следует отметить, что через камеры вода подается на движущуюся полосу с высоты 1200 – 2400 мм. В данном устройстве возможно с большой интенсивностью охлаждать и при этом устройстве имеет малую чувствительность к загрязненной охлаждающей воде.

Авторы работ [141] отмечают, что формируемая структура горячекатаной полосы зависит от температурной области структурных превращений, где заканчивается прокатка и производится смотка полосы в рулон.

По данным авторов работы [142] от температуры конца прокатки и смотки зависит структура полосы, полученные при различных скоростях охлаждения полосы на отводящем рольганге и условиях охлаждения наружного и внутреннего витков рулона. По данным приведенным в работе [142], при температуре конца прокатки выше точки Ar_3 (прокатка полосы заканчивается в однофазной аустенитной области) смотка полосы производится при температурах, соответствующих однофазной ферритной области. Поэтому в металле полосы формируется равномерная структура по их толщине и длине. По мнению авторов данной работы, температурой конца прокатки определяется в указанных температурных границах размер ферритного зерна. С ростом температуры конца прокатки размер зерно увеличивается практически по линейному закону.

Многими исследованиями установлено [143-150], что температура конца прокатки 850÷870°С является оптимальной для получение равномерной структуры и механических свойств по длине и толщине полосы. В таком случае обеспечивается размер ферритного зерна в пределах 7-8 баллов и достигается оптимальное соотношение прочностных и пластических свойств металла.

В работе [138], на основе исследований температурных условий горячей прокатки на НШСГП разработаны достоверные математические модели и созданы алгоритмы расчета параметров процесса непрерывной прокатки полос. Авторы данной работы установили, что перераспределение обжатий в сторону повышение степеней деформации в последних клетях широкополосных станов, увеличивает температуру раскатов в черновой группе клетей на 30 – 35°С. Возрастание толщины раскатов с 34 мм до 38 – 40 мм, уменьшает температуры на промежуточном рольганге на 30÷40°С. При этом температура конца прокатки тонких полос увеличивается на 6 - 16°С. Повышение заправочной скорости от 8,0 – 8,5 м/с до 9,0 – 9,5м/с при применении

раскатов толщиной 38 – 40 мм дает возможность достичь температуры переднего конца полос, на выходе из чистовой группы 840°С. Температура основной части полос, прокатанных со скоростью 13 – 14 м/с, равняется 850 – 860°С.

Работы [151-153] посвящены решению проблем охлаждения полосы с температуры конца прокатки 830 ÷950°С до 500÷650°С перед сматыванием ее в рулоны на моталке. В данной работе разработана и внедрена алгоритм расчета условий охлаждения металла. По мнению авторов данных работ применение эффективных охлаждающих устройств, управляемых ЭВМ, позволяют изменять температуру начала смотки полос в пределах 500-700°С, что вполне достаточно для обеспечение рациональной структуры и механических свойств проката.

Выводы

1. В настоящее время для получение конкурентоспособной листовой продукции используется литейно-прокатные агрегаты, мини-заводы, нетрадиционные принципы транспортирования.

2. Наибольшие перспективы для использования в технологических системах современных мини-заводов имеют литейно-прокатные модули на базе тонкослябовых и двухвалковых МНЛЗ.

3. Путем разработки оптимальной технологии современного производства, использования энергосберегающих технологических приемов, снижения стоимости оборудования и затрат на его ремонт возможно получение конкурентоспособной листовой продукции.

4. Совершенствование работы уборочной линии прокатного стана и, в частности, отводящего рольганга может внести значительный вклад в развитие прокатного производства.

5. Анализ многочисленной литературы показал, что совершенствованию существующих рольгангов не может дать желаемого производителями листового проката эффекта.

6. Использования воды, воздуха высокого давления для охлаждения и транспортировки, снижения трения между роликом и транспортируемой полосой, уменьшение износа ролика и повышение качества горячекатаных полос может дать хороший результат для совершенствования прокатного производства.

7. Однако использование воды, воздуха высокого давления для уменьшения трения между контактируемыми поверхностями полос и роликов, уменьшение износа роликов невозможно без проведения теоретических и экспериментальных исследований.

2 РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ОТВОДЯЩЕГО РОЛЬГАНГА ПРОДОЛЬНО-КЛИНОВОГО СТАНА НОВОЙ КОНСТРУКЦИЙ

В настоящее время для производства тонких листов из стали используют сложную, энергоемкую технологию, состоящую из: разливки сляба – горячей прокатки – принудительного охлаждения на отводящем рольганге - очистки от окалины – холодной прокатки – дрессировки – отделки [138]. Каждый этап технологического процесса прокатки тонких листов осуществляется в отдельном цехе крупного металлургического предприятия.

Необходимо отметить, что большинство тонких листов из стали и сплавов прокатываются на широкополосных станах листовой прокатки металлургических комбинатов [154]. Строительство таких станов приводит к большим производственным площадям, удельным капитальным и эксплуатационным расходам, увеличению расхода металла, энергии, топлива, снижению производительность труда.

Одним из важнейших и перспективных направлений изготовления тонких листов из сталей и сплавов является создание литейно-прокатных комплексов (ЛПК), включающих в свой состав машины непрерывного литья полос и агрегаты для прокатки непрерывно-литых полос [155,156]. Низкие удельные капиталовложения и короткий строительный цикл; простая и компактная технология; региональное сырье в виде металлического лома; специализированный сортамент продукции, ориентированный на конкретного потребителя; высокая производительность труда при оптимизации производственных издержек; появление новых технологий; а также создание нового технологического оборудования - весь этот комплекс объективных предпосылок сделал ЛПК одним из наиболее динамично развивающихся и эффективных направлений в металлургии [30].

По мнению авторов работы [157], изготовление тонких листов в ЛПА позволяет получать горячей прокаткой полосы толщиной 0,6 – 2,0 мм с металлургическими свойствами, конкурирующими со свойствами холоднокатаных полос. Такие свойства тонких горячекатаных полос позволяют производителю предлагать их потребителю близкой цене холоднокатаных, получая дополнительную экономию.

В работе [158] отмечено, что в действительности горячая прокатка не обеспечивает должного качества поверхности, но стоимость тонны горячекатаных полос ниже как минимум на **20** долларов США, чем себестоимость холоднокатаных аналогичного типоразмера и имеет повышенную коррозионную стойкость. Также сила при горячей прокатки меньше, чем сила при холодной прокатке, а значит меньше будут деформации клети и составных элементов, что влечет за собой меньшую продольную разнотолщинность.

На традиционных ЛПК получают, как правило, слябы толщиной около 250 мм, которые в горячем состоянии прокатывают до толщины 1,5 – 20 мм [30]. Такая высокая степень деформации заготовки требует использования мощного прокатного оборудования и больших производственных расходов. Поэтому усовершенствование технологии литья в первую очередь было направлено на уменьшение толщины заготовки с целью исключения из производственной цепочки наиболее энергоемких процессов – прокатки и нагрева заготовки.

Следующим этапом производства стальной полосы стало литье тонкого сляба толщиной до 50 мм [158]. Первый ЛПК по производству тонкого сляба был построен в г. Кроуфордсвилл компаниями Nucor (США) и SMSDemag (Германия).

Более тесное соединение двух этапов процесса удалось реализовать именно в совмещенных тонкослябовых литейно-прокатных агрегатах (ЛПА), что позволило получить следующие экономические преимущества [19]: снизить капиталовложения; сократить время прохождения металла в цикле производства; увеличить оборачиваемость капитала и снизить складские издержки; обеспечить экономичное производство партий малого размера; снизить расход энергии, повысить качество горячекатаной полосы.

В последнем этапе развития ЛПК для производства тонких полос методом совмещенного литья и прокатки начали использовать способ литья полос непосредственно в валковые кристаллизаторы [159,160].

Если проанализировать технологию прокатки тонких горячекатаных полос [19,138,154,155], то можно сделать вывод, что вследствие высоких технико-экономических показателей с точки зрения удельной производительности, качества и себестоимости готовой металлопродукции основной технологической схемой промышленного производства листов в существующих предприятиях является процесс порулонной прокатки относительно тонких лент и полос на непрерывных или реверсивных станах с последующим их раскроем по длине и ширине на разном агрегате продольной и поперечной резки.

По мере освоения производства тонких полос из сталей и сплавов на существующих станах специалисты по управлению качеством все чаще стали обращать внимание на дефекты поверхности изделий и наличие дефектов по разнотолщинности и планшетности [19,155,157]. Наличие дефектов снижает производительность труда, КИМ, качество изделий, увеличивает трудоемкость производства, т.е. ухудшает технико-экономические показатели производства. Кроме того, наличие дефектов на продукции снижает ее конкурентные преимущества, ограничивает динамику экспансии на внешнем рынке и снижает международный рейтинг производителей тонких полос.

По мнению авторов работ [15] причиной появление дефектов в горячекатаных тонких полос является отсуствия опорных валков в клетях дуо или подпора рабочих валков вдоль оси прокатки в клетях кварто существующих станов. Такая конструкция существующих станов приводит к изгибу валков в горизонтальной плоскости, что отрицательно влияет на качество готовой продукции.

Наиболее простой способ повышения качества металлопроката является уменьшения диаметров рабочих валков [15]. Это ведет к снижению силы прокатки, что благоприятно сказывается на конечном продукте. Но, зачастую, снижение диаметров рабочих валков невозможно или ограничено вследствие конструктивных особенностей станины прокатного стана, с также тем, что при уменьшении диаметра валков увеличивается прогиб валка и уменьшается прочность валкового узла. Для уменьшение прогиба и повышение прочности таких валков конструкторы использовали опорные валки большого диаметра, например, в клетях кварто и многовалковых клетях станов холодной прокатки [138]. При этом, учитывая, что уменьшения размеров рабочих валков до величин, которые не позволяют использовать рабочие валки в качестве приводных, привод организовывали на опорные валки. Однако, при организации привода на опорные валки происходит изгиб рабочих валков в горизонтальной плоскости, что отрицательно влияет на качество готовой продукции.

В связи с вышесказанным и предпочтением машиностроительных предприятий и строительной индустрии использовать более дешевые горячекатаные полосы с механическими характеристиками и качеством поверхности, соответствующих требованиям стандарта, а также отсутствием собственного производства горячекатаных тонких полос в Казахстане, потребность которых достаточно велика, важным вопросом является разработка энергосберегающей инновационной технологии прокатки тонких полос.

С целью прокатки качественных листов из металлов и сплавов нами предлагается продольно-клиновый стан [161]. Данный стан содержит рабочие клети, электродвигатели 1, редукторы 2, муфты 3, шестеренные клети 4, универсальные шпиндели 5, рабочие 6 и опорные 7 валки, станину 9, опорную плиту 10, нажимные механизмы 11 (рисунок 2.1).

В предлагаемом стане последовательно расположенных рабочих клетях диаметры рабочих валков уменьшаются в направлении прокатки, при этом горизонтальные оси верхних и нижних валков первых трех клетей без нажимного механизма смещаются от оси прокатки в вертикальном направлении.

Имеющимся от трех двигателей 1, редукторов 2, муфт 3, шестеренных клетей 4 и шпинделей 5 приводе вращение валков рабочих клетей осуществляют через две шести валковые и одну двух валковую шестеренные клеть, при этом первые три клети стана изготовляют с двумя

опорными валками 7, а последние две клети стана – с четырями опорными валками 8 диаметром

$$D_4 = \frac{h_3 \cdot R_3 \cdot n_3}{h_4 \cdot n_4} \frac{(1+s_3)}{(1+s_4)}; \qquad D_5 = \frac{h_4 \cdot D_4 \cdot n_4}{h_5 \cdot n_5} \frac{(1+s_4)}{(1+s_5)},$$

где h_3, h_4 и h_5 – толщина прокатываемой полосы в 3, 4 и 5 клети;

n_3, n_4 и n_5 – частота вращение валков 3, 4 и 5 клети;

s_3, s_4 и s_5 – опережение на выходе из валков 3, 4 и 5 клети.

Необходимо отметить, что при разработке конструкции клетей стана с рабочими валками малого диаметра смогли создать две клети имеющие высокую жесткость при более простой валковой системе. В данных клетях для предотвращения прогиба рабочих валков малого диаметра в горизонтальной плоскости использовали с 2-х сторон расположенные опорные ролики. Приводным являются опорные валки.

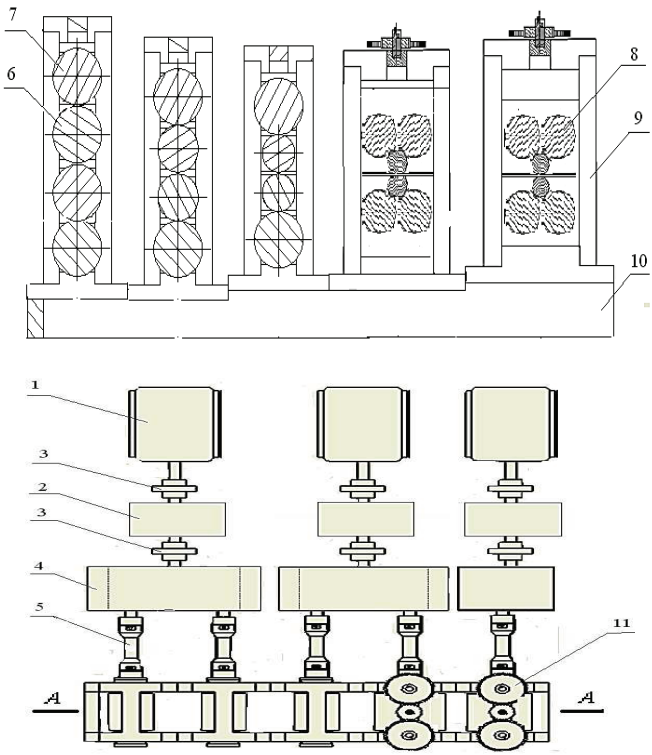


Рисунок 2.1– Продольно-клиновый стан

При прокатке в данном стане тонких полос из металлов и сплавов, через последовательно расположенные в направлении прокатки клетях, у которых расстояние между рабочими валками от одной клети к другой увеличиваются на величину опережение в данной клети, происходит уменьшение высоты и достижение требуемой толщины полосы.

С целью повышения качества листового проката и уменьшения износа роликов отводящего рольганга нами разработан отводящий рольганг принципиально новой конструкции [163]. Данный отводящий рольганг широкополосного прокатного стана, содержит непрерывные ряды секций с пустотелыми роликами и индивидуальные приводы. При этом каждый ролик отводящего рольганга снабжен редуктором, индивидуальным вентилятором, при этом корпус вентилятора сделан в виде лопастей с углом атаки 35 – 40^{o}, а лопатки – с изменяющимся поперечным сечением и углом атаки 10 – 12^{o} (рисунок 2.2, где 1 - электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – вентилятор высокого давления; 4 – пустотелый ролик; 5 – шпиндель; 6 – подшипниковая опора).

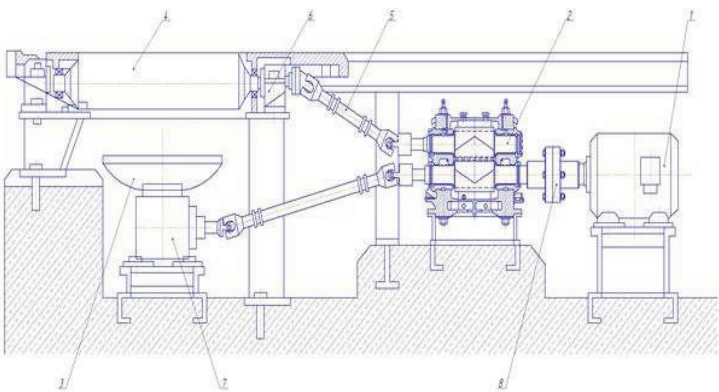


Рисунок 2.2– Отводящий рольганг новой конструкции

Транспортирование горячекатаных полос осуществляют следующим образом. Из трансформатора в электродвигатели 1 поступает постоянный или переменный ток. Электродвигатели вращают валы редуктора 2, а валы редуктора вращают пустотелые ролики 5, а также лопатки вентилятора 3. Лопатки вентилятора вращаясь подсасывают воздух и направляют воздух с большим давлением на транспортируемую полосу.

Все это приводит к подъему листового проката в вертикальном направлении и снижению трения между полосой и роликами, а также передвижению полосы от последней клети стана до моталки.

В отводящем рольганге охлаждение горячекатаных полос осуществляется с прокатного нагрева путем отведения тепла охлаждающей средой (водо-воздушная смесь), подаваемой на поверхность горячего раската.

2.1 Расчет мощности привода роликов отводящего рольганга с воздушной подушки

Современное прокатное производство представляет собой сложный многодельный технологический процесс, каждое звено которого выдвигает свои специфические требования к электромеханическому оборудованию [104]. При этом, перспективным направлением модернизации прокатного оборудования являются достижение высокого качества продукции и снижение энергозатрат. Одним из направлением повышение качества листопрокатной продукции и снижение энергозатрат является усовершенствования конструкции отводящего рольганга непрерывного широкополосного стана (НШПС). Отводящий рольганг является оборудованием, входящим в комплектную установку прокатного стана, он работает в достаточно тяжелых условиях.

В работах [12,163] приводится конструкция известных отводящих рольгангов широкополосных станов. Данные отводящие рольганги широкополосных станов содержат непрерывные ряды секций снабженные вращающимися от двигателя постоянного или переменного тока сплошными роликами.

Однако известные отводящие рольганги широкополосных станов из-за высокого осевого момента инерции, склонности к дисбалансу из-за температурных деформации приводит к частому выходу из строя подшипников и электрических двигателей.

Авторы работы [9,12] предлагают новые конструкций отводящих рольгангов широкополосных прокатных станов, содержащий непрерывные ряды секций снабженные вращающимися от двигателя постоянного или переменного тока пустотелыми роликами.

Недостатком данных отводящих рольгангов широкополосных прокатных станов является, то что из-за непосредственного контакта транспортируемой полосы и роликов происходит неравномерный износ роликов. Неравномерный износ приводит к одновременному нахождению на рольганге роликов различных диаметров, что способствует нарушению соответствия скоростей полосы и рабочей поверхности роликов. Не соответствия этих скоростей из-за торможения проката на участках с большим износом бочки создает аварийную ситуацию, а большой износ рабочих поверхностей приводит к образованию поверхностных дефектов.

Многочисленными исследованиями [164,165,166,167] установлено, что повреждение нижней поверхности горячекатаных полос обусловлено

главным образом трением их о ролики рольгангов стана. При этом вероятность образования продиров, рисок и других механических повреждений возрастает в случаях сильного износа поверхности роликов, неправильной их установки и заклинивания. Сказанное в полной мере относится также к тянущим н формирующим роликам моталок. На современных широкополосных станах для предупреждения повреждения горячекатаных полос о ролики отводящих рольгангов и повышения скорости транспортирования передних концов полос от последней клети до моталок предусматривают следующие мероприятия: уменьшают расстояние между осями соседних роликов; повышают точность установки роликов в горизонтальной плоскости; применяют индивидуальный привод каждого ролика; обеспечивают плавное нарастание скорости вращения роликов по длине отводящего рольганга; повышают износостойкость роликов. Необходимым условием предупреждения повреждения поверхности горячекатаных полос является также поддержание высокого уровня технического состояния оборудования стана, которое предусматривает проведение осмотров линеек проволковой арматуры, роликов отводящего рольганга и других узлов при каждой перевалке, своевременную замену н ремонт отдельных деталей и узлов (в первую очередь транспортирующих роликов рольганга, межроликовых плит и др.).

Необходимо отметить, что ролики отводящего рольганга, является одним из массивных элементов, подвергается интенсивному износу и частым поломкам, что приводит к значительным отказам рольганга [6,7,138]. Лишь по причине износа бочек роликов отводящего рольганга НШПС – 1700 АО «Арселор Миттал Темиртау» в течение года выходит из строя порядка 280 – 330 роликов, что для рольганга НШПС – 1700 составляет до 80 % годового расхода роликов [11,12].

Интенсификация скоростей транспортирования, обеспечение высокого качества поверхности полос требуют от ролика повышенных эксплуатационных показателей, основными из которых являются [6,7,138]:

- минимальный осевой момент инерции;
- минимизация дисбаланса вследствие температурных деформаций при одностороннем нагреве;
- способность хорошо сопротивляться износу при трении.

Анализ многочисленных литератур свидетельствует о том, что существующие подходы к совершенствованию работы отводящих рольгангов не дают возможности резкого увеличения их работоспособности. На наш взгляд, качественное улучшение перемещения горячекатаных полосы можно достигнуть только с применением рольгангов принципиально новой конструкции, например с использованием принципа воздушной подушки в прокатном производстве.

Следовательно, обеспечение снижения износа роликов путем применение принципально новой конструкции отводящего рольганга является актуальной задачей.

Нами разработана новая конструкция отводящего рольганга широкополосных прокатных станов [162], которая может быть использовано в прокатных цехах металлургических комбинатов для изготовления горячекатаных листов.

По нашему мнению использования отводящего рольганга новой конструкции приведет к повышению качества получаемых горячекатаных полос, снижению материальных и энергетических затрат на транспортировку и охлаждение полос.

Ролики – самые ответственные детали отводящего рольганга. Давление, возникаемая при транспортировке листов на отводящем рольганге, воспринимается роликами. Поэтому при конструировании и изготовлении роликов особое внимание уделяется их прочности и жесткости.

Основными параметрами рольгангов является: длина бочки роликов и шаг между роликами. С целью снижения массы рольганга и уменьшения мощности привода диаметр роликов целесообразно брать наименьшим, насколько позволяет прочность самого ролика. Длину бочки роликов принимают для рабочих рольгангов равной длине бочки валков, для транспортных рольгангов (отводящий) – на 150 – 200 мм больше ширины транспортируемой полосы.

Момент и мощность привода роликов рольганга определяем по известной методике с учетом трех факторов [2]:

а) момент сил трения в подшипниках при перемещении металла по рольгангу:

$$M_{тр} = (Q + nG)\mu_{п}\frac{d_{п}}{2}, \qquad (2.1)$$

где Q – вес металла, приходящейся на один ролик (при индивидуальном приводе каждого ролика); G – вес самого ролика; n – количество роликов приводимых от одного электродвигателя (в нашем случае n = 1); $\mu_{п}$ – коэффициент трения в подшипниках (для роликовых подшипников $\mu_{п}$ = 0,005 ÷ 0,008, принимаем $\mu_{п}$ = 0,006); $d_{п}$ – диаметр трения в подшипниковых опорах ролика:

$$d_{п} = \frac{d_{нар} + d_{вн}}{2};$$

б) возможного буксования роликов по металлу при случайном упоре металла в препятствие, например в направляющие линейки, установленные по длине рольганга:

$$M_{бук} = Q\mu_б \frac{d}{2}, \tag{2.2}$$

где $\mu_б$ –коэффициент трения ролика при буксовании (по горячему металлу $\mu_б = 0{,}3$); d – диаметр бочки ролика, $d = 0{,}3$ м.

Эти моменты составляют статическую (неизменную, постоянную при υ = const) нагрузку привода:

$$M_{ст} = M_{тр} + M_{бук}; \tag{2.3}$$

в) возможности транспортирования металла с ускорением, для чего к роликам необходимо приложить динамический момент:

$$M_{дин} = J\varepsilon = J\frac{d\omega}{dt}, \text{ кН·м}, \tag{2.4}$$

где ε – угловое ускорение вращающейся массы, $1/с^2$ (рад/с);

J – момент инерции масс т, вращающихся с ускорением:

$$J = J_р + J_м, \text{ Н·м}. \tag{2.5}$$

Момент инерции для полого ролика определяем по формуле:

$$J_р = \frac{m_р}{2}\left(R^2_{нар} + R^2_{вн}\right) = \frac{m_р}{2}\left(\frac{d^2}{4} + \frac{d^2_{вн}}{4}\right), \tag{2.6}$$

где $m_р$ – масса вращающейся части ролика ($m_р = 500$ кг).

Для приведения момента инерции поступательно движущегося металла к оси вращения ролика будем считать, что масса металла приложена в точке (по образующей) на окружности ролика. Тогда момент инерции находящегося на ролике металла равен:

$$J_м = \frac{m_м}{4}d^2, \text{ кг·м}^2, \tag{2.7}$$

где $m_м$– масса металла, приходящееся на один ролик.

Угловое ускорение роликов ε определим по формуле:

$$\varepsilon = \frac{j}{r} = \frac{2j}{d},\ \text{с}^{-2}, \tag{2.8}$$

где j = 0,15 м/с^2 – ускорения поступательно движущего по роликам металла.

Для определения массы металла $m_м$, приходящейся на один ролик, поступаем следующим образом: наибольшая площадь поперечного сечения транспортируемой полосы определяем по формуле:

$$F = b \cdot h,\ \text{м}^2$$

Масса транспортируемого металла определим по формуле:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot F \cdot L \tag{2.9}$$

где ρ = 78500 кг/м^3 – плотность стали; L – длина транспортируемой полосы, м; m = 23000 кг – масса полосы.

Из формулы (138) находим длину транспортируемой полосы по формуле:

$$L = \frac{m}{\rho \cdot F},\ \text{м}$$

При шаге между роликами t = 360 мм количество опорных роликов будет равно:

$$n_{оп} = \frac{L}{t}$$

Имея 328 опорных роликов определяем искомую массу приходящейся на один ролик следующим образом:

$$m_м = \frac{m}{n_{оп}}$$

Мы получили, что на один ролик рольганга соответствует 70 кг от всей массы полосы.

Переходим к вычислению моментов сопротивлений.

По формуле (2.1) определим потери на трение в подшипниках при передвижении металла по рольгангу:

$$M_{тр} = q\left(m_м + n \cdot m_р\right) \cdot \mu_п \cdot \frac{d_п}{2},\ \text{Н·м}$$

где $d_{ï} = \frac{d_{i} + d_{âí}}{2}$, м; $d_{н}$ = 0,18 – наружный диаметр подшипника, м; $d_{вн}$ – внутренний диаметр подшипника, м; q – ускорение силы тяжести.

Подставляя вместо Q ему равную величину $m_{м} \cdot q$ по формуле (2.2) определяем $M_{бук}$:

$$M_{бук} = m_{м} \cdot q \cdot \mu_{б} \cdot \frac{d}{2}, \text{ Н·м.}$$

По формуле (2.3) определяем статическую нагрузку привода, а по формуле (2.7) определяем момент инерции транспортируемого металла.

Подставляя значения $J_{м}$ в формулу (2.5) находим момент инерции масс, вращающихся с ускорением.

Имея момент инерции J определяем по формуле (2.4), а динамический момент, необходимый для транспортирования металла находим используя формулу:

$$M_{дин} = J \cdot \varepsilon$$

Суммируя найденные значения $M_{ст}$ и $M_{дин}$ находим момент привода n роликов рольганга.

Угловая скорость вращения роликов равна:

$$\omega_{р} = \frac{2\upsilon}{d}, \text{ с}^{-1},$$

где υ – окружная скорость роликов рольганга (принимаем υ = 18 м/с).

Мощность, требующаяся для вращения роликов рольганга, определяем по формуле:

$$N_{рол} = M_{рол} \cdot \omega_{р}, \text{ кВт.}$$

Мощность электродвигателя для привода роликов определяем по формуле:

$$N_{дв} = \frac{N_{рол}}{\eta}, \text{ кВт,}$$

где η = 0,95 – к.п.д. передачи от двигателя к ролику.

Частота вращения ролика определяем по формуле:

$$n_{рол} = \frac{30 \cdot \omega_{р}}{\pi}, \text{ об/мин.}$$

На роликах отводящего рольганга НШПС 1700 «АРСЕЛОРМИТТАЛ ТЕМИРТАУ» установлены электродвигатели постоянного тока ДП – 32С с мощностью 5,5 кВт, числом оборотов n = 1260 об/мин.

Электродвигатель постоянного тока выбран для обеспечения регулировки частоты вращения роликов, следовательно и скорости транспортировки полосы.

Конструктивно выбираем упругие муфты с тарообразной оболочкой.

Крутящий момент на валу электродвигателя определяем по формуле:

$$M_{дв} = 974\frac{N_{дв}}{n_{дв}}, \text{Н·м}.$$

По ГОСТ 20884-82 было выбрано следующие муфты с номинальным крутящим моментом $M_{кр}$ = 80 Н·м. Наружный диаметр D = 250 мм; d = 50 мм.

Расчетные данные привода роликов существующего отводящего рольганга приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Расчетные данные привода роликов известного отводящего рольганга

$J_р$, Кг·м^2	ε, с$^{-2}$	F, м^2	L, м	$n_{оп}$, шт	$m_м$, кг	$M_{тр}$, Н·м	$d_п$, м	$d_н$, м	$d_{вн}$, м
9,53	1	0,0248	118,14	328	70	2,09	0,125	0,18	0,07
$M_{бук}$, Н·м	$M_{ст}$, Н·м	$J_м$, кг·м^2	J, кг·м^2	$M_{дин}$, Н·м	$M_{рол}$, Н·м	$\omega_р$, с$^{-1}$	$N_{рол}$, кВт	$n_{рол}$, об/мин	$M_{дв}$, Н·м
30	32,09	1,57	11,1	11,1	43,19	120	5,45	1146	42,52

Нами предложен отводящий рольганг принципиально новой конструкции. Как отмечено выше, данный отводящий рольганг широкополосного прокатного стана, содержит непрерывные ряды секций с пустотелыми роликами и индивидуальные приводы. При этом каждый ролик отводящего рольганга снабжен редуктором, индивидуальным вентилятором, при этом корпус вентилятора сделан в виде лопастей с углом атаки 35 – 40^o, а лопатки – с изменяющимся поперечным сечением и углом атаки 10 – 12^o.

Для реализации на практике отводящий рольганг новой конструкции необходимо рассчитать и обосновать рациональные температурные режимы его применения и определить оптимальные параметры его конструктивных элементов [168]. Задача, в первую очередь, состоит в расчете характеристик вспомогательных вентиляторов, которые обеспечивают небольшой подъем или снижение массы полосы при прокатке.

Уравнение сил, действующих на горячекатаные полосы вдоль горизонтальной оси можно записать в виде [169]

$$mj = R - G = C_x(\alpha = 90^o)\rho\upsilon^2_в F/2 - m\cdot\mu\cdot g, \qquad (2.10)$$

где j – ускорения поступательно движущего по роликам металла (j = 0,15 м/с^2);

m– масса полосы приходящейся на один ролик (70 кг);

$C_x(\alpha = 90^o)$ – коэффициент аэродинамического сопротивления прокатуемой полосы при угле $\alpha = 90^o$;

μ – коэффиient сухого трения между полосой и ролиом (μ = 0,03);

ρ– плотность воздуха (ρ ~ 1,15 кг/м^3);

F– характерная площадь полосы, приходящейся на один ролик рольганга (F~ 0,0248 м^2);

$\upsilon_в$ – скорость искусственного воздушного потока, создаваемая каждым вентилятором.

По мнению авторов работы [170,171] аэродинамическое сопротивление прямоугольного параллелепипеда, обтекаемого продольным потоком является в основном сопротивлением давления. Авторы данных работ считают, что в чистой форме этот вид сопротивления имеет место при обтекании плоской пластины, расположенной поперечно к потоку воздуха. Поэтому для плоской пластины рекомендуют принят коэффициент аэродинамического сопротивления C_x приблизительно равным или большим 0,9.

Используя уравнение (2.10) определили скорость искусственного воздушного потока каждого вентилятора по формуле:

$$\upsilon_в = \sqrt{\frac{m(j + \mu\cdot g)}{C_x(\alpha = 90^o)\cdot\rho\cdot F}}. \qquad (2.11)$$

Расчет по формуле (2.11) позволила установить, что для подъема прокатумого листа каждый вентилятор должен развивать скорость воздушного потока равный ~ 150 м/с.

Используя методику приведенной в работе [172] привели расчет осевого вентилятора. Расход, подачу, производительность вентилятора расчитаем по формуле:

$$L_р = \upsilon_в\cdot F_н, \qquad (2.12)$$

где $F_н$ - площади нагнетательного отверстия, м^2.

Для расчета величины $F_н$ и расхода вентилятора внутренний диаметр корпуса вентилятора и скорость искусственного воздушного потока

принесли равным, соответственно, $D_к$ = 1,0 м и $\upsilon_в$ = 50 м/с. Тогда получена следующая величина расхода вентилятора: $L_р$= 141300 м^3/ч.

Используя вычисленные значений расхода вентилятора и применяя номаграмму приведенной в работе [173] выбрали вентилятор высокого давления ВДП-56С 1000 со следующими характеристиками: $L_р$ = 60000 м^3/ч; n = 1800 об/мин; p = 6000 Па; N = 60 кВт.

Применение вентилятора высокого давления ВДП-56С 1000 будет создавать под каждым роликом на нижнем поверхности горячекатаного листа усилие равный 150 Н, что приведет к уменьшению трения на поверхности контакта горячекатаной полосы с роликом. Уменьшение трения приведет к снижению износа роликов, а также будет способствовать повышению качества горячекатаных полос.

2.2 Расчет и конструирование шестеренной клети нового отводящего рольганга

2.2.1 Выбор электродвигателя

1. Потребная мощность двигателя состоит из мощности потребляемой приводным рольгангом, охлаждающим вентилятором и мощности, расходуемой на преодоление механических потерь привода и опор роликов рольганга (рисунок 2.2) [174], т.е.

$$N_{дв} = (N_{рол} + N_{вент})/\eta_{\Sigma} = N'_{дв} + N''_{дв}$$

$N_{рол}$ = 5,182 кВт, $N_{вент} \approx N_{рол}$ = 5,782, $\eta \approx 0{,}95$

2. Принимаем КПД механических передач и устройств [174]:
η_1 = 0,97 – КПД закрытой цилиндрической передачи;
η_2 = 0,96 – КПД закрытой конической передачи;
η_3 = 0,99 – КПД пары подшипников качения редуктора;
η_4 = 0,98 – КПД карданного вала;
η_5 = 0,98 – КПД муфты;
η_6 = 0,99 – КПД пары подшипников качения роликов рольганга.
3. Общий КПД привода роликов[174]:

$$\eta' = \eta_1 \cdot \eta_3^2 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5 \cdot \eta_6^4 = 0{,}97 \cdot 0{,}99^2 \cdot 0{,}98 \cdot 0{,}98 \cdot 0{,}99^4 = 0{,}877;$$
$$\eta'' = \eta_2 \cdot \eta_3^2 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5 = 0{,}96 \cdot 0{,}99^2 \cdot 0{,}98 \cdot 0{,}98 = 0{,}904.$$

4. Мощность двигателя, требуемая для привода роликов рольганга[174]:

$$N'_{дв} = \frac{N_{рол}}{\eta'} = \frac{5,182}{0,877} = 5,91 \text{ кВт};$$

$$N''_{дв} = \frac{N_{вент}}{\eta''} = \frac{5,182}{0,877} = 5,91 \text{ кВт};$$

$$N_{дв\Sigma} == N^1_{дв} + N^4_{дв} = 5,91 + 5,73 = 11,64 \text{ кВт}.$$

5. Принимаем двигатель асинхронный трехфазный серии 4Ф мощностью $N_{дв} \geq N_{дв\Sigma} = 11,64$ кВт 4А 16054; $N_{дв}$=15 кВт; $n_{ном}$ = 1455 об/мин · $d_{дв}$ = 42 мм.

6. Передаточное отношение цилиндрического зубчатого редуктора [174]:

$$i_{цил} = \frac{n_{ном}}{n_{рол}} = \frac{1455}{637} = 2,28;$$

$$n_{рол} = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{60 \cdot 10}{3,14 \cdot 0,3} = 637 \text{ об/мин}.$$

7. Передаточное число конического зубчатого редуктора $i_{кон}$ примем равным единицы $i_{кон}$=1 [174].

8. Определяем кинематические параметры цилиндрического зубчатого редуктора [174]:

- частоты вращения и угловые скорости ведущего вала

$n_1 = n_{ном} = 1455$ об/мин; $\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 1455}{30} = 152,29 \frac{рад}{с}$;

$n_2 = \frac{n_1}{i_{цик}} = \frac{1455}{2,28} = 637$ об/мин; $\omega_2 = \frac{\pi \cdot n_2}{30} = \frac{3,14 \cdot 637}{30} = 65,82 \frac{рад}{с}$.

- мощность и крутящий момент ведущего вала

$$N_1 = N_{дв} \cdot \eta_5 \cdot \eta_4 = 11,91\ 0,98\ 0,99 = 5,73 \text{ кВт};$$

$$M_{кр1} = \frac{N_1}{\omega_1} = \frac{5,73 \cdot 10^3}{152,29} = 87,59 \text{ н·м} = 37,65 \cdot 10^3, \text{ н·мм};$$

$$N_2 = N_1 \cdot \eta_1 \cdot \eta_4 = 5,73\ 0,97\ 0,99 = 5,502 \text{ кВт};$$

$$M_{кр2} = \frac{N_2}{\omega_2} = \frac{5,502 \cdot 10^3}{65,82} = 87,59 \text{ нм} = 87,59 \cdot 10^3, \text{ н·мм}.$$

9. Определяем кинематические параметры конического зубчатого редуктора [174]:

- частота вращения валов:

$n_3 = n_4 = n_1 = 1455$ об/мин;

- угловые скорости:

$\omega_3 = \omega_4 = \omega_1 = 152{,}29$ рад/с.

Мощности:
- на валу конической шестерни

$$N_3 = N_д'' \cdot \eta_4 \cdot \eta_3^2 \cdot \eta_5 = 5{,}73 \cdot 0{,}98 \cdot 0{,}99^2 \cdot 0{,}98 = 4{,}95 \text{ кВт};$$

- на валу конического колеса

$$N_4 = N_3 \cdot \eta_5 \cdot \eta_3 = 4{,}95 \cdot 0{,}96 \cdot 0{,}99 = 4{,}71 \text{ кВт}.$$

Крутящие моменты:
- на валу конической шестерни

$$M_{кр3} = \frac{N_3}{\omega_3} = \frac{4{,}95 \cdot 10^3}{152{,}29} = 32{,}5 \text{ н·м} = 32{,}5 \cdot 10^3 \text{н·мм};$$

$$M_{кр4} = \frac{N_4}{\omega_4} = \frac{4{,}71 \cdot 10^3}{152{,}29} = 30{,}93 \text{ н·м} = 30{,}5 \cdot 10^3 \text{н·мм}.$$

2.2.2Расчет цилиндрического зубчатого редуктора

Производим выбор материала и расчет допустимых напряжений[174].

1. Выбираем для шестерни и колеса одинаковую марку стали 40ХН улучшенную, т.е.

шестерня: до твёрдости НВ269… 302, $D_{заг} = 200$ мн, $S_{заг} = 128$ м

колесо: до твёрдости НВ235… 262, $D_{заг} = 315$ мн, $S_{заг} = 200$ м

2. Определяем допустимое контактное напряжение [174]:

$$[\sigma_н] = \frac{\sigma_{Hlimb} \cdot Z_n \cdot Z_R \cdot Z_V}{[S_н]},$$

где σ_{Hlimb} – предел контактной выносливости, вычисляемый по эмпирической формуле в зависимости от материала и способа термической обработки зубчатого колеса и средней твёрдости на поверхности зубьев (таблица 2.2. [174]);

Z_N – коэффициент долговечности, определяется по формуле:

$$Z_N = \sqrt[6]{\frac{N_{HO}}{N_{HE}}}; \quad (1 \le Z_N \le 2{,}6).$$

При длительной эксплуатации редуктора принимаем $Z_N = 1$;

Z_R– коэффициент, учитывающий влияние шероховатости поверхностей зубьев (11.2.3 п.4 [174]):

Для R_a1,25…2,5 при 8 степени точности передачи $Z_R = 0{,}95$.

Z_V–коэффициент, учитывающий влияние окружной скорости, $Z_V = 0{,}85 \cdot V^{0,1}$.

$[S_н] = 1{,}1$ – для материалов с однородной структурой, в нашем случае улучшенная сталь.

Предел контактной выносливости при улучшении определяется по формуле [174]:

$$\sigma_{Hlimb} = 2HB_{ср} + 70;$$

- для шестерни

$$\sigma_{Hlimb1} = 2 \cdot \frac{269+302}{2} + 70 = 641 \text{ н/мм}^2;$$

- для колеса

$$\sigma_{Hlimb2} = 2 \cdot \frac{235+262}{2} + 70 = 567 \text{ н/мм}^2.$$

Предварительное значение межосевого расстояния определяется по формуле [174]:

$$a'_w = k(u+1)\sqrt[3]{T_1/u} = 10(2{,}28+1)\sqrt[3]{37{,}65/2{,}28} = 83{,}41 \text{ мм},$$

где k=10 – коэффициент, учитывающий твёрдость зубчатых колёс редуктора (H_1, $H_2 \le 350$ НВ).

Предварительное значение окружной скорости находим по уравнению [174]:

$$v' = \frac{2\pi a'_w \cdot n_1}{6 \cdot 10^4 \cdot (2{,}28+1)} = 3{,}75 \text{ м/с},$$

при $\upsilon \le 5$ м/с принимаем $Z_V = 1$.

Допускаемые контактные напряжения равняется [174]:

$$[\sigma_{н1}] = \frac{641 \cdot 1 \cdot 0{,}95 \cdot 1}{1{,}1} = 554 \text{ н/мм}^2;$$

$$[\sigma_{н2}] = \frac{567 \cdot 1 \cdot 0{,}95 \cdot 1}{1{,}1} = 490 \text{ н/мм}^2.$$

При выполнении условия $[\sigma_н] \leq 1{,}23[\sigma_{н2}]$ допускаемое контактное напряжение равен [174]:

$$[\sigma_н] = 0{,}45 \cdot ([\sigma_{н1}] + [\sigma_{н2}]) = 0{,}45(554 + 490) = 470 \text{ н/мм}^2 < \\ < 1{,}23[\sigma_{н2}] = 1{,}23 \cdot 490 = 602{,}7 \text{ н/мм}^2.$$

Принимаем $[\sigma_н] = 470$ н/мм^2.

Определяем допускаемые напряжения изгиба. Допускаемое напряжение изгиба определяется по формуле [174]:

$$[\sigma_F] = \frac{\sigma_{Flimb} \cdot Y_N \cdot Y_R \cdot Y_A}{[S_F]},$$

где σ_{Flimb}– предел выносливости при изгибе; вычисляем по эмпирической формуле (таблица 2.3. [174]):

- для улучшения сталей:

$$\Sigma_{Flimb} = 1{,}75 \text{ НВ}_{ср}$$

- шестерня

$$\sigma_{Flimb1} = 1{,}75 \cdot 285{,}5 = 500 \text{ н/мм}^2$$

- колесо

$$\sigma_{Flimb2} = 1{,}75 \cdot 248{,}5 = 435 \text{ н/мм}^2$$

Y_N – коэффициент долговечности, учитывающий влияние ресурсов. Для длительно работающих быстроходных передач $Y_N = 1$

Y_R – коэффициент, учитывающий влияние шероховатости переходной поверхности между зубьями, принимаем $Y_R = 1$ при шлифовании или зубофрезеровании;

$Y_A = 1$, двустороннего приложения нагрузки. При одностороннего приложении нагрузки $Y_A = 1$.

Минимальные значения коэффициента запаса прочности для улучшенных сталей $[S_F] = 1,7$.

Допускаемые напряжения изгиба шестерни, колеса [174]:

$$[\sigma_{F1}] = \frac{500 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{1,7} = 294 \text{ н/мм}^2;$$
$$[\sigma_{F2}] = \frac{435 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{1,7} = 256 \text{ н/мм}^2.$$

2.2.3 Расчет цилиндрических зубчатых колес редуктора

Межосевые расстояния определяем по формуле[174]:

$$a_w = k_a(u+1)\sqrt[3]{\frac{k_н \cdot T_1}{\varphi_{ва} \cdot \text{u} \cdot [\sigma_н]^2}},$$

где = 410 – для косозубых колес; $[\sigma_н]$ – в МПа; T_1 – в н·м, $k_н$– коэффициент нагрузки.

Предварительно определяем коэффициент нагрузки [174]:

$$k_н = k_{нv} \cdot k_{нβ} \cdot k_{нα},$$

где $k_{нv}$– коэффициент динамической нагрузки; при υ' = 3,75 м/с, $H_{1,2} \leq 350$ НВ для косозубой передачи $k_{нv}$=1,0 [174].

$k_{нβ}$– коэффициент концентрации нагрузки,

$$k_{нβ} = 1+(k^{o}_{нβ} - 1) \cdot k_{нv} = 1+(1,035-1) \cdot 0,3 = 1,01$$

$k_{нα}$– коэффициент, учитывающий приработку зубьев, его значение определим в зависимости от окружной скорости зубчатого колеса с меньшей твердостью (таблица 2.8 [174]): при υ' = 3,75 м/с, и Н = 248,5 НВ, $k_{нw}$= 0,3;

$k^{o}_{нβ}$– коэффициент неравномерности распределения нагрузки в начальный период работы; его значение определим по таблице 2.7[174] в зависимости от коэффициента Ψ_{bd}, схемы передачи и твердости зубьев, при $\Psi_{bd} = 0,5\Psi_{ba}(u+1) = 0,5 \cdot 0,4(2,28+1) = 0,656$, одноступенчатого редуктора и твердости зубьев Н≤350 НВ, $k^{o}_{нβ}$=1,35. Здесь Ψ_{ba} =0,4 при симметричном расположении колес относительно опор;

$k_{н\alpha}$– коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки между зубьями; его значение определим по эмпирической зависимости,

$$k_{н\alpha}= 1+ (k^{o}_{н\alpha} - 1)\cdot k_{нw},$$

где $k^{o}_{н\alpha}$ =1+A($n_{ст}$– 5) = 1+0,25(8 – 5) = 1,75 ≤ 1,6; A=0,25 при H_1≤ 350 НВ и H_2 ≤ 350 НВ;

$n_{ст}$ – степень точности передачи, принимаем 8 степень точности. При 8 степени точности принимаем $k^{o}_{н\alpha}$ =1,6.

Таким образом

$$k_{н\alpha} = 1+(1,6 – 1) \cdot 0,3 = 1,18.$$

Коэффициент нагрузки

$$k_{н}=1,08\cdot 1,01\cdot 1,18 = 1,29.$$

Определяем межосевое расстояние [174]:

$$a'_{w} = 410(2,28+1)\sqrt[3]{\frac{1,29\cdot 37,65}{0,4\cdot 2,28\cdot 470^2}} \approx 84 \text{ мм}.$$

Величину a_wокругляем до ближайшего значения в соответствии с ГОСТ 2185 – 66 a_w =90 мм.

Определяем основных размеров колеса [174].

Делительный диаметр:

$$d_L = 2a_w \cdot u/(u+1) = 2\cdot 90\cdot 2,28/(2,28+1) = 125 \text{ мм}.$$

Ширина:

$$b_2= \Psi_{ba}\cdot a_w= 0,4\cdot 90 = 36 \text{ мм}.$$

Определяем модуль зацепления. Максимально допустимый модуль определяем из условия не подрезания зубьев у основания [174]:

$$m_{man}= \frac{2a_w}{17(u+1)} = \frac{2\cdot 90}{17(2,28+1)} =3,23 \text{ мм}.$$

Минимальные значения модуля m_{min}определяем из условия прочности [174]:

$$m_{\min}=\frac{k_m \cdot k_p \cdot T_1}{a_w \cdot b_c \cdot [\sigma_F]},$$

где k_m = 2,8 для косозубых передач; вместо $[\sigma_F]$ подставляем меньшее из значений $[\sigma_{F1}]$ и $[\sigma_{F2}]$, т.е. $[\sigma_F] = [\sigma_{F2}] = 256$ н/мм^2;

k_{FV}– коэффициент, учитывающий внутреннюю динамику нагружения, связанную прежде всего с ошибками шагов зацепления шестерни и колеса. Значения k_{FV} принимаем из табл. 2.9 в зависимости от степени точности, окружной скорости и твердости рабочих поверхностей: для косозубых передач 8 степени точности при υ=3,75 м/с и твердости Н $\leq$ 350 НВ принимаем k_{FV} = 1,155;

$k_{F\alpha}$– коэффициент, учитывающий влияние погрешности изготовления шестерни и колеса на распределение нагрузки между зубьями:

$$k_{F\alpha}= k^{o}_{H\alpha}= 1,6;$$

$k_{F\beta}$– коэффициент, учитывающий неравномерность распределения напряжений у основания зубьев по ширине зубчатого венца, оценивают по формуле:

$$k_{F\beta}= 0,18+0,82 \cdot k^{o}_{H\beta} = 0,18+0,82 \cdot 1,01 \approx 1,01.$$

Минимальное значение модуля [174]

$$m_{\min}=\frac{2,8 \cdot 10^3 \cdot 1,87 \cdot 37,65 \cdot (2,28+1)}{90 \cdot 36 \cdot 256} = 078 \text{ мм}.$$

Из полученного диапазона (0,78…3,23) принимаем стандартное значение m_n= 2 мм.

Определяем суммарное зубьев и угол наклона [174]. Минимальный угол наклона зубьев косозубых колес

$$\beta_{\min} = \arcsin(4m/b_2) = \arcsin(4 \cdot 2/36) = 12,84^{\circ}.$$

Суммарное число зубьев

$$Z_{\Sigma} = \frac{2a_w \cdot cos\beta_{min}}{m} = \frac{2 \cdot 90 \cdot \cos(12,84^{o})}{2} = 87,75.$$

Полученное значение Z_Σ округляем в меньшую сторону до целого числа Z_Σ=87.

Определяем действительное значение угла β наклона зуба[174]:

$$\beta = arccos\frac{Z_\Sigma \cdot m}{2a_w} = arccos\frac{87 \cdot 2}{2 \cdot 90} = 14{,}82^o = 14^o 49' 12''.$$

Определяем число зубьев шестерни и колеса шестерни[174]:

$$Z_1 = \frac{Z_\Sigma}{u+1} = \frac{87}{2{,}28+1} = 26{,}52\,;$$

принимаем $Z_1 = 27$.

Фактическое передаточное число передачи[174]

$$u_ф = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{60}{27} = 2{,}22.$$

Отклонение

$$\Delta = \frac{|u - u_ф|}{u} \cdot 100\% = \frac{|2{,}28 - 2{,}22|}{2{,}28} \cdot 100\% = 2{,}6\% < 3\%.$$

Определяем диаметры зубчатых колес [174]. Делительные диаметры:

$d_1 = m_n Z_1/\cos\beta = 2 \cdot 27/\cos 14{,}82^\circ = 55{,}86$, мм;
$d_2 = m_n Z_2/\cos\beta = 2 \cdot 60/0{,}9667 = 124{,}14$, мм.

Определяем диаметры окружностей вершин зубьев [174]:

$d_{a1} = d_1 + 2\,m_n = 55{,}86 + 2 \cdot 2 = 59{,}86$ мм;
$d_{a2} = d_2 + 2\,m_n = 124{,}4 + 2 \cdot 2 = 128{,}4$ мм.

Определяем диаметры окружностей впадин зубьев [174]:

$d_{f1} = d_1 - 2{,}5m_n = 55{,}86 - 2 \cdot 2{,}5 = 50{,}86$ мм;
$d_{f2} = d_2 - 2{,}5m_n = 124{,}4 - 2 \cdot 2{,}5 = 119{,}14$ мм.

Ширина шестерни

$в_1 = в_п + (5 - 10)$ мм $= 36 + 6 = 42$ мм.

Для получение при термической обработке принятые для расчета механические характеристики материала колес, к размерам заготовок предъявляется следующие требования[174].

$$D_{заг} \le D_{пр},\ C_{заг} < S_{пр}\ ,\ S_{заг} \le S_{пр}.$$

Значения $D_{заг}$, $C_{заг}$, $S_{заг}$ вычисляют по формулам для шестерни и колеса с выточками[174].

$$D_{заг1} = d_{a1} + 6 = 59{,}86 + 6 = 65{,}86 < D_{пр1};$$
$$D_{заг2} = d_{a2} + 6 = 128{,}14 + 6 = 134{,}14 < D_{пр2}.$$

Колеса делаем с выточками, поэтому

$$C_{заг2} = 0{,}5в_2 = 0{,}5 \cdot 36 = 18 \text{ мм} < S_{пр2} = 200 \text{ мм}$$
$$S_{заг2} = 8m = 8 \cdot 2 = 16 \text{ мм} < S_{пр2} = 200 \text{ мм}.$$

Шестерню делаем без выточек, поэтому

$$S_{заг1} = в_1 + 4 = 42 + 4 = 46 \text{ мм} < S_{пр1} = 125 \text{ мм}.$$

Все требования выполняется, поэтому выбранный ранее материал 40ХН с соответствующей термической обработкой оставляем без изменения.

Производим проверку зубьев по контактному напряжению[174].

Расчетное значение контактного напряжения [174]:

$$\sigma_н = \frac{z_\sigma}{a_n}\sqrt{\frac{k_n T_1 (U_{ср}+1)^3}{в_z U_ф}},$$

где $z_\sigma = 8400$ – для косозубых передач, $МПа^{1/2}$

$$\sigma_н = \frac{8400}{90}\sqrt{\frac{1{,}29 \cdot 37{,}6(2{,}22+1)^3}{36 \cdot 2{,}22}} = 420 \text{ Н/мм}^2 \prec 470 \text{ Н/мм}^2.$$

Расчитываем отклонения

$$\Delta = \frac{|[\sigma]_H - \sigma_H|}{[\sigma]_H}100\% = \frac{|470 - 420|}{470}100\% = 10{,}6 \prec 15\%.$$

Условия прочности по контактным напряжениям выполнено.

Силы в зацеплении[174]:

Окружная

$$F_t=2\cdot10^3T_1/d_1 = 2\cdot10^3\cdot37,65/55,86 = 1350 \text{ Н};$$

Радиальная

$$F_r=F_t\cdot tg\alpha = 1350\cdot \text{ tg } 14,82^o = 360 \text{ Н}.$$

Проверяем зубья колес по напряжениям изгиба[174].

Расчетное значение напряжения изгиба у основания зубьев определяем по формуле:

В зубьях колеса

$$\sigma_{F2} = \frac{K_F \cdot F_{tц}}{в_2 m_n} Y_{FS2} \cdot Y_B \cdot Y_\varepsilon \le [\sigma]_{F2},$$

В зубьях шестерни

$$\sigma_{F1} = \sigma_{F2} Y_{FS1} /\cdot Y_{FS2} \le [\sigma]_{F1}$$

Значение коэффициента Y_{FS} учитывающего форму зуба и концентрацию напряжений зависит от приведенного числа зубьев и коэффициента смещения принимаем по таблице 2.10[174].

Расчетное значение приведенного числа зубья[174]:

Шестерни

$$Z_{V1} = Z_1 /\cdot \cos^3\beta = 27/\cos^3 14,82^o = 30,\ Y_{FS1}=3,866;$$

Колеса

$$Z_{V2} = Z_2 /\cdot \cos^3\beta = 60/\cos^3 14,82^o = 66,4,\ Y_{FS2}=3,61.$$

Определяем значения коэффициента Y_β, учитывающий угол наклона зуба[174]:

$$Z_\beta = 1-\frac{\beta}{100} = 1-\frac{14,82}{100} = 0,85.$$

Коэффициент, учитывающий перекрытие зубьев для косозубых передач равен: $Y_\varepsilon = 0,65$.

Определяем расчетное значение напряжения изгиба[174]:

в зубьях колеса

$$\sigma_{F2} = \frac{1,87\cdot1350}{36\cdot2}3,61\cdot0,85\cdot0,65 = 70\ \ Н/мм^2 \le [\sigma]_{F2} = 256\ \ Н/мм^2;$$

$$\sigma_{F1} = 70 \cdot 3{,}866 / 3{,}61 = 75 \ \ H / мм^2 \le [\sigma]_{F1} = 294 \ \ H / мм^2.$$

Условие прочности выполнено.

2.2.4 Расчет конического зубчатого редуктора

Выбираем конический редуктор с круговыми зубьями[174].

Определяем предварительное значение диаметра внешней делительной окружности шестерни[174]:

$$d'_{e1} = K \sqrt[3]{\frac{T_1}{u \cdot \theta}} = 30 \sqrt[3]{\frac{32{,}5 \cdot 10^3}{1 \cdot 1{,}43}} = 85 \ \ мм,$$

где $T_1 = M_{K3} = 32{,}5 \cdot 10^3$ Н·мм;

$K = 30$ при твердости материала колес Н < 350 НВ.

$\theta_н = 1{,}22 + 0{,}21 \cdot u = 1{,}22 + 0{,}21 \cdot 1 = 1{,}43$.

Определяем окружную скорость υ_m (м/с) на среднем делительном диаметре по формуле[174]:

$$\upsilon_m = \pi \cdot 0{,}857 \cdot d'_{e1} \cdot n_1 / \left(6 \cdot 10^4\right) = 3{,}14 \cdot 0{,}857 \cdot 85 \cdot 1455 / \left(6 \cdot 10^4\right) = 5{,}55 \ \ м / с.$$

Назначаем 7-ю степень точности.

Значение коэффициента динамической нагрузки выбираем по таблице 2.6 [174]: при окружной скорости υ_m = 5,55 м/с, 7 степени точности и твердости колес Н ≤ 350 НВ принимаем $K_{HV} = 1{,}00$.

Коэффициент неравномерности распределения нагрузки по длине контактных линий $K_{Hβ}$ определяем для конических колес с круговыми зубьями по формуле[174]:

$$K_{H\beta} = \sqrt{K^o_{H\beta}} = \sqrt{1{,}12} = 1{,}06 \ge 1{,}12,$$

принимаем $K_{Hβ} = 1{,}00$.

Ориентировочно определяем значение коэффициента ψ_{bd} по формуле[174]:

$$\psi_{bd} = 0{,}166 \sqrt{u^2 + 1} = 0{,}166 \cdot \sqrt{1^2 + 1} = 0{,}235.$$

При $\psi_{bd} = 0{,}235$ и твердости материала колес Н ≤ 350 НВ принимаем $K^o_{H\beta} = 1{,}12$.

Таким образом, уточненное значение диаметра внешней делительной окружности шестерни определяем уравнением[174]:

$$d_{e1} = 1660\sqrt[3]{\frac{1{,}09 \cdot 1{,}20 \cdot 32{,}5}{1 \cdot 1{,}43 \cdot 470^2}} = 85{,}0 \ мм,$$

принимем d_{e1}= 90 мм.

Определяем внешнее конусное расстояние и ширину зубчатого венца.

В связи с тем, что u = 1, угол делительного конуса шестерни и колеса одинаковы и равняется[174]:

$$\delta_1 = \delta_2 = \text{arctg } 1 = 45^o.$$

Внешнее конусное расстояние R_eравен[174]:

$$R_e = d_{e1}/2\sin 45^o = 90/2 \cdot 0{,}707 = 63{,}64 мм.$$

Ширина зубчатого венца равен[174]:

$$в = 0{,}285 \cdot R_e = 0{,}285 \cdot 60{,}64 = 18 \text{ мм}.$$

Модуль передачи определяем по уравнению[174]:

$$m_{te} \geq \frac{14 K_{FV} \cdot K_{F\beta} \cdot T_1}{d_{e1} \cdot в \cdot \theta_F [\sigma]_F},$$

где K_{FV} – коэффициент внутренней динамической нагрузки. Находим по таблице 2.9 [174] при υ = 5,55 м/с, H < 350 HB и 7 степени точности. K_{FV} = 1,176.

$K_{F\beta}$ – коэффициент неравномерности распределения нагрузки у основания зубьев по ширине зубчатого венца. Для конических колес с круговыми зубьями определяется по формуле[174]:

$$K_{F\beta} = \sqrt{K'_{F\beta}},$$

где $K'_{F\beta} = 0{,}18 + 0{,}82 \cdot K^o_{H\beta} = 0{,}18 + 0{,}82 \cdot 1{,}12 = 1{,}098$.

$\psi_{вd} = в/d_m = 18/77{,}26 = 0{,}24$.

$d_m = 2(R_e - 0{,}5в) \sin\delta_1 = 2(63{,}64 - 0{,}5 \cdot 18/) \sin 45^o = 77{,}26$.

Значение коэффициента$K_{F\beta}$равен[174]:

$$K_{F\beta} = \sqrt{1{,}098} = 1{,}05,$$

принимаем $K_{F\beta}$ = 1,15.

Определяем значения модуля зацепления[174]:

$$m_{te} \geq \frac{14 \cdot 1{,}176 \cdot 1{,}15 \cdot 32{,}5 \cdot 10^3}{90 \cdot 18 \cdot 1{,}02 \cdot 294} = 1{,}3 \ мм,$$

где $\theta_F = 0{,}94 + 0{,}08u = 0{,}94 + 0{,}08 \cdot 1 = 1{,}02$.

Принимаем $m_{te} = 2{,}5$ мм.

Определяем число зубьев [174]:

шестерни

$$z_1 = d_{e1} / m_{te} = 90/2{,}5 = 36.$$

$$Z_2 = z_1 \cdot u = 36 \cdot 1 = 36.$$

Окончательные значения размеров колес.

Углы делительных конусов: $\delta_1 = \delta_2 = 45^o$.

Делительные диаметры: $d_{e1} = d_{e2} = m_{te} \cdot z_1 = 25 \cdot 36 = 90$ мм.

Диаметры вершин зубьев[174]:

$$d_{ae1} = d_{a2} = d_{e1} + 2 \cdot m_{te} \cdot \cos\delta_1 = 90 + 2 \cdot 2{,}5 \cdot \cos 45^o = 93{,}636 \ мм.$$

Диаметры впадин зубьев[174]:

$$d_{fe1} = d_{fe2} = d_{e1} - 2{,}4 \cdot m_{te} \cdot \cos\delta_1 = 90 - 2{,}4 \cdot 2{,}5 \cdot \cos 45^o = 85{,}758 \ мм.$$

Определяем размеры заготовки колес[174]

$$D_{заг} = d_{e1} + m_{te} + 6 \text{ мм} = 90 + 2{,}5 + 6 = 101 \text{ мм} < D_{пр} = 200 \text{ мм};$$

$$S_{заг} = 8 \cdot m_{te} = 8 \cdot 2{,}5 = 20 \text{ мм} < S_{пр} = 125 \text{ мм}.$$

Определяем силы в зацеплении[174]:

окружная

$$F_t = 2 \cdot 10^3 \cdot T_1 / d_{m1} = 2 \cdot 10^3 \cdot 32{,}5 / 77{,}26 = 841 \ H;$$

осевая сила на шестерне ($\beta = 35^o$)

$$F_{a1} = \frac{F_1}{\cos\beta}\left(tg\alpha \cdot \sin\delta_1 + \sin\beta \cdot \cos\delta_1\right) =$$

$$= \frac{841}{\cos 35^o}\left(tg20^o \cdot \sin 45^o + \sin 35^o \cdot \cos 45^o\right) = 680 \ H.$$

радиальная сила

$$F_{r1} = \frac{F_1}{\cos\beta}\left(tg\alpha \cdot \cos\delta_1 + \sin\beta \cdot \sin\delta_1\right) =$$

$$= \frac{841}{\cos 35^o}\left(tg20^o \cdot \cos 45^o + \sin 35^o \cdot \sin 45^o\right) = 680 \ H.$$

Осевая и радиальная силы на колесе будут такими же, так как углы $\delta_1 = \delta_2 = 45^o$.

Проверка зубьев колес по контактным напряжениям [174]

$$\sigma_н = 6{,}7 \cdot 10^4 \sqrt{\frac{K_{HV} \cdot K_{H\beta} \cdot T_1}{U_ф \cdot d_{e1}^3 \cdot \theta_H}} = 6{,}7 \cdot 10^4 \sqrt{\frac{1{,}09 \cdot 1{,}06 \cdot 32{,}5}{1 \cdot 90^3 \cdot 1{,}43}} =$$

$$= 427 \ \frac{H}{мм^2} \prec \left[\sigma_H\right] = 470 \ \frac{H}{мм^2}.$$

Условие прочности выполняется.

Проверяем зубья колес по напряжениям изгиба следующим уравнением[174]:

$$\sigma_{F2} = \frac{2{,}72 \cdot 10^3 \cdot K_{FV} \cdot K_{F\beta} \cdot T_1 \cdot Y_{FS2}}{в \cdot d_{e1} \cdot m_{te} \cdot \theta_F} = \frac{2{,}72 \cdot 10^3 \cdot 1{,}176 \cdot 1{,}15 \cdot 32{,}5 \cdot 3{,}74}{18 \cdot 90 \cdot 2{,}5 \cdot 1{,}02} =$$

$$108 \ \frac{H}{мм^2} \le \left[\sigma\right]_{F2} = 256 \ \frac{H}{мм^2}.$$

$$\sigma_{F1} = \sigma_{F2} Y_{FS1} / \cdot Y_{FS2} = 108 \ \ H/мм^2 \le \left[\sigma\right]_{F1} = 294 \ \ H/мм^2.$$

$$Z_V = Z_1 / \cdot \cos\delta = 36 / \cos 45^o = 51.$$

Условие прочности выполняется.

Предварительный расчет валов[174].

Цилиндрический зубчатый редуктор: $M_{кр1}$ = 37,65 Н·м; $M_{кр2}$ = 87,59 Н·м

Быстроходный вал. Диаметр выходного конца вала

$$d'_{e1} = (7 \div 8)\sqrt[3]{T_1} = (7 \div 8)\sqrt[3]{76{,}43} = 34 \div 36 \ мм,$$

где $T_1 = N_{дв} / \cdot \omega_{дв} = 11640 / 152{,}29 = 76{,}43 \ H \cdot м.$

$\omega_{дв} = \omega_1 = 152{,}29$ рад/с.

Для соединения вала электродвигателя с быстроходным валом стандартной муфтой необходимо соблюдения следующего условия[174]:

$$d_{в1} = 0{,}8 \cdot d_{дв} = 0{,}8 \cdot 42 = 33{,}6 \text{ мм}.$$

Принимаем из стандартного ряда (ГОСТ 6636-69) в таблице 24.1 [174]$d_{в1}$ = 32 мм.

Определяем диаметр вала под подшипником[174]:

$$d_{п1} = d_{дв} + 2 \cdot t_{цил} = 32 + 2 \cdot 3{,}5 = 39 \text{ мм.}$$

Принимаем $d_{п1}$ = 40 мм; $d_{бп1}$ = 40 + 3·2,5 = 48 мм.

Шестерню делаем за одно целое с валом[174].

Определяем диаметр тихоходного вала по формуле[174]:

$$d_{в2} = (5 \div 6)\sqrt[3]{T_2} = (5 \div 6)\sqrt[3]{87{,}59} = 22{,}2 \div 27 \ \textit{мм.}$$

$$T_2 = M_{кр2} = 87{,}59 \text{ Н·м.}$$

Принимаем $d_{в2}$ = 28 мм.

Определяем диаметр вала под подшипником[174]:

$$d_{п2} \geq d_{в2} + 2 \cdot t_{цил} = 28 + 2 \cdot 3{,}5 = 35 \text{ мм.}$$

Принимаем $d_{п2}$ = 35 мм.

$$d_{БП} \geq d_{П} + 3 \cdot r = 35 + 3 \cdot 2{,}5 = 42{,}5 \text{ мм.}$$

Принимаем $d_{БП}$ = 42 мм.

Определяем диаметр вала под колесом [174]

$$d_{к2} \geq d_{БП2} = 42 \text{ мм.}$$

Определяем размеры конического зубчатого редуктора[174].

Быстроходный и тихоходный валы будут иметь одинаковый диаметры, так как $M_{кр3} = M_{кр4}$ = 32,5 Н·м.

Диаметр выходного конца валов определяем по уравнению[174]:

$$d_{в3} = (7 \div 8)\sqrt[3]{M_{КР3}} = (7 \div 8)\sqrt[3]{32{,}5} = 22 \div 25{,}3 \ \textit{мм.}$$

Принимаем $d_{в3} = d_{в4}$ = 22 мм.

Диаметр вала под подшипником определяем по формуле[174]:

$$d_{п3} = d_{п4} \geq d_{в3} + 2 \cdot t_{цил} = 22 + 2 \cdot 3{,}5 = 29 \text{ мм.}$$

Принимаем $d_{п3} = d_{п4}$ = 30 мм.

$$d_{БП3} \geq d_{П3} + 3 \cdot r = 30 + 3 \cdot 2{,}5 = 37{,}5 \text{ мм}.$$

Диаметр вала под колесами определяем по формуле[174]:

$$d_{К3} = d_{К4} \geq d_{ВП3} = 38 \text{ мм}.$$

Подбираем подшипники качения.

Для валов косозубого цилиндрического редуктора, однорядные радиально-упорные шариковые подшипники серии ГОСТ 831-75.

Для валов конического зубчатого редуктора с круговыми зубьями выбираем радиально-упорные однорядные подшипники серии ГОСТ 27365-75.

2.3 Расчет осевого вентилятора

Расчет осевого вентилятора произвели по методике, приведенной в работе[175].

В работе [176] в общем виде дано рекомендация по выбору расчетного угла атаки на различных радиусах лопаточного венца рабочего колеса. Данная рекомендация имеет следующий вид: нулевые или небольшие отрицательные углы атаки (α_1 = - 2 .. – 4°)можно выбирать для при корпусных решеток, а положительные углы атаки и большие, чем это следует из данных по плоским решеткам можно выбирать для при втулочных решеток.

Известно[177], что на основе уравнений Эйлера и неразрывности потока производится определение основных размеров осевых насосов и вентиляторов. При этом учитываются конструктивные соотношения, принятые в практике и особенности работы ступеней. Для расчета осевого вентилятора обычно задают[175]:

H–напор выраженный в метрах столба среды, перемещаемой машиной;

L –подача, $м^3/с$, и физические константы среды.

В проектируемом отводящем рольганге осевые вентиляторы соединяются с электродвигателем через редуктор. Поэтому частоту вращения вентилятора принимаем равным рабочей частоте вращения ведущего вала редуктора.

Следует отметить, что в осевых вентиляторах обычно ограничиваются скоростями до 100 м/с[177]. При таких скоростях возможно избежать появления сильного шума.

Отношение диаметра втулки D_1 к внешнему диаметру колеса D_2 [175]:

$$\nu = \frac{D_1}{D_2} = \frac{D_{ВТ}}{D_H} = 0{,}35 - 0{,}7. \qquad (2.13)$$

Известно, что большие значенияνвыбирают для больших значений давлений(для осевых векторов P= 40 – 300 Па).

Коэффициент расхода вычисляют по формуле[175]:

$$\varphi = \frac{L}{\omega_K \cdot u_2}, \tag{2.14}$$

где L – расход, подача, производительность вентилятора, м^3/с.

u_2 – окружную скорость на внешнем диаметре колеса.

Площадь кольцевого сеченияω_Kможно рассчитать по формуле[175]:

$$\omega_K = \frac{\pi\left(D_2^2 - D_1^2\right)}{4} = \left(1 - \nu^2\right)\frac{\pi \cdot D_2^2}{4}. \tag{2.15}$$

Коэффициент расхода φможно принять в пределах 0,4 – 0,8.

Для вычисления диаметра внешней кромки колеса можно использовать формулу[175]:

$$D_2 = D_H = \sqrt[3]{\frac{L}{\nu\left(1 - \nu^2\right) \cdot K_\varphi \cdot \omega_o}}, \tag{2.16}$$

где ω_o– угловая скорость вращения, рад/с.

Коэффициент K_φможно задавать в пределах K_φ = 0,6 – 1,0.Этот коэффициент представляет собой отношение скорости потока вдоль оси вентилятора к окружной скорости на втулке, т.е.K_φ= C_a/$u_{вт}$.

Авторы работы [178] рекомендуют диаметр округлят до следующих величин: 100, 125, 160, 200, 250, 315,400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000 мм.

При выбранных ν иK_φпоследнее равенство однозначно определяет диаметр колеса осевой машины.

Диаметр втулки рассчитали по формуле[175]:

$$D_1 = D_{ВТ} = \nu D_2,$$

а для определения длины лопатки применили формулу:

$$l = (D_2 - D_1)/2 = (1 - \nu)D_2/2 \tag{2.17}$$

Из уравнения (2.15) видно, что применения высоких частот вращения приводит к уменьшениюD$_H$.

Коэффициент быстроходность вычисляют по формуле[175]:

$$n_s = 53\frac{L^{0,5}}{P^{0,75}}\omega_o, \tag{2.18}$$

где P – полное давления, Па.

После расчета коэффициента быстроходности проверяли, соответствует ли полученное значение области работы осевых вентиляторов n_s= 200 ÷ 400.

В работе [179] указано, что элементы лопасти, находящиеся на разных расстояниях от центра колеса, работают с различной эффективностью.

Поэтому допускается расчет лопастей по среднему диаметру

$$D_{cp} = \sqrt{\frac{D_2^2 + d_1^2}{2}} = D_2\sqrt{\frac{\left(1+\nu^2\right)}{2}} \tag{2.19}$$

и при менее цилиндрических лопастей ν> 0,7.

При ν ≥ 0,7 применяются цилиндрические лопатки, т. е. форма лопатки по длине не меняется. При ν≤ 0,7 лопатки винтовые, т. е. изогнуты по длине лопатки[175]. В этом случае расчет усложняется из-за того, что лопатки разбиваются на 7-10 участков, каждый из которых рассчитывается по отдельности.

Окружную скорость на внешнем диаметре колеса можно определить по формуле[175]

$$u_2 = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n}{60} = \frac{D_2 \cdot \omega_o}{2} \le 100 \ м/с, \tag{2.20}$$

где n – частота вращения вала, об./с.

Авторы работы [180] рекомендуют последнее значение не превышать во избежание сильного шума.

Коэффициент давления можно вычислить по формуле[175]:

$$\psi = \frac{2P}{\rho \cdot u_2^2}, \tag{2.21}$$

где ρ – плотность, кг/м^3, и теоретическое значение коэффициента давленияψ_T= 1,25 ψ.

Коэффициент расхода можно вычислить по формуле[175]

$$\varphi = \frac{L}{\omega_K \cdot u_2}, \tag{2.22}$$

при этом осевую составляющую абсолютной скорости можно рассчитать по формуле:

$$C_{1n} = C_{2n} = = \varphi u_2. \tag{2.23}$$

Для определения окружной скорости на среднем диаметре можно использовать уравнение[175]:

$$u_{ср} = \frac{D_{ср} \cdot \omega_o}{2}. \tag{2.24}$$

Угол лопаток на входе можно определить по формуле[175]:

$$\beta_1 = arctg \frac{C_n}{u_{ср}} \tag{2.25}$$

Известно [180], что для определения угла лопаток на выходе сначала по уравнению Эйлера определяют окружную составляющую абсолютной скорости на выходе, рассчитанной по среднему диаметру:

$$C_{2u} = \frac{P}{\rho \cdot u_{ср} \cdot \eta_Г}, \tag{2.26}$$

где гидравлический КПД $\eta_Г$ = 0,75 – 0,92. После этого угол лопаток на выходе определяют по формуле:

$$\beta_2 = arctg\left(\frac{C_n}{u_{ср} - C_{2u}}\right). \tag{2.27}$$

Шаг профиля рассчитывают по формуле[175]:

$$t = \frac{\pi \cdot D_{ср}}{Z}, \tag{2.28}$$

Для определения длины хорды сечения лопатки можно применить уравнение[175]:

$$b = (0{,}6 – 0{,}8)\ t. \tag{2.29}$$

В работе [179] рекомендуют угол установки лопатки определить по формуле:

$$\theta = \beta_1 + 2°. \qquad (2.30)$$

Так как осевая составляющая C_n скорости для принятого значения φ известна ($C_п=φ×u_Н$), то при отсутствии закрутки угол входе потока в меж лопастные каналы определяется уравнением (2.25).

Угол выхода потока из меж лопастных каналов можно рассчитать по формуле (2.27).

Лопастные углы на входе и выходе можно рассчитать по формуле[175]:

$$\beta_{1л} = \beta_1 + i, \quad i = 2 - 7;$$
$$\beta_{2л} = \beta_{1л} + \Delta\beta_л,$$

где $\Delta\beta_л$принимается по результатам экспериментальных продувок решеток лопастей.

Количество рабочих лопастей осевых вентиляторов выбирают до 40[181].

В многоступенчатых осевых машинах между венцами рабочих лопастей двух соседних ступеней размещаются венды неподвижных лопаток, направляющих поток, проходящий из одного рабочего колеса в другое.

Угол входа направляющих лопаток можно рассчитать по формуле[175]:

$$\alpha_2=\text{arctg}C_n/C_{2u},$$

а угол выхода $\alpha_3= 90°$.

При известном значении относительного шага профиля t= 0,5 – 1,5 определяется хорда профиля $b=t/\bar{t}$, (где t вычисляется по диаметру колеса и принятому количеству лопастей).

Профили лопастей можно построить путем построения среднюю линию профиля по углам $\beta_{2л}$и $\beta_{1л}$по относительным координатам профилей.

При лопатках (ν<0,7) хорду профиля изменяют по длине так, чтобы

$$b_{вт} = (1 - 1{,}5)b_н,$$

где $b_н$ – хорда профиля на окружности наружного диаметра.

Расчет осевого вентилятора[175]. Исходные данными были следующие величины: перепад давления P = 600 Па; диаметр колеса D_k = 0,9 м; число оборотов n = 1500 об/мин

Задавали следующие величины: ширина лопатки b = 0,1 м; плотность воздуха ρ = 1,293; гидравлический КПД ηg = 0,91; диаметр втулки $D_{вт}$= 0,4 м; число лопаток Z = 8.

Расчетным путем определили:

- угловую скорость угловая скорость вращения

$$\omega_o = \pi \times n/30 = 3{,}14 \times 1500/30 = 157 c^{-1};$$

- окружная скорость на внешнем диаметре

$$u_2 = \pi \times n \times D_k/60 = 71{,}59 \text{ м/с};$$

- из формулы

$$D_k = \frac{0{,}32\left(0{,}545 n_s + 4b\right)\sqrt{P}}{n}$$

определили коэффициент быстроходности. Коэффициент быстро ходности n_s= 226,07; По величине коэффициента быстроходности выбирается тип вентилятора. У осевых вентиляторов с листовыми крученными лопатками коэффициент быстроходности (n_s) равен 200…400. Поэтому выбрали осевой вентилятор, с листовыми крученными лопатками;

- из уравнения

$$n_s = 53 \frac{L^{0,5}}{P^{0,75}} \omega_o,$$

определили расход L= 7,68 $м^3$/с.

- относительный диаметр втулки

$$\nu = D_{вт}/D_k = 0{,}4/0{,}9 = 0{,}445;$$

- осевая скорость

$$C_a = 4 \times L/\pi \times D_k^2 \times (1-\nu^2) = 28{,}6;$$

- площадь колеса вентилятора

$$F_1 = \pi \times D_k^2/4 = 0{,}326 \text{ м}^2;$$

- относительный коэффициент расхода

$$L^{/} = L/F_1 \times u_2 = 0{,}331;$$

- коэффициент давления

$$\Psi = 2 \times P/\rho \times u_2^2 = 18{,}1 \times 10^{-2}$$

- теоретическое значение коэффициента давления ($k = 1{,}25$)

$$\Psi_t = \Psi \times k = 0{,}226$$

- длина лопатки

$$L_{лоп} = (D_k - D_{вт})/2 = 0{,}25 \text{ м.}$$

Следующие показатели длинных лопаток рассчитали:
- число разбиений – n = 3 (*i*- номер участка);
- средний радиус участка

$$r_i = D_{вт}/2 + L_{лоп} \times (2 \times i - 1) / 2 \times n,$$

$r_1 = 0{,}242$; $r_2 = 0{,}328$; $r_3 = 0{,}414$;
- относительный радиус *i* - ого сечения

$$\bar{r}_i = 2 \times r/D_k,$$

$\bar{r}_1 = 0{,}524$; $\bar{r}_2 = 0{,}723$; $\bar{r}_3 = 0{,}891$;
- окружная скорость на *i* - ом участке

$$u_i = \pi \times r \times n /30,$$

$u_1 = 37{,}84$; $u_2 = 50{,}86$; $u_3 = 63{,}84$;
- окружная составляющая скорости

$$C_{2Ui} = P / \rho \times u_i \times \eta g,$$

$C_{2U1} = 13{,}38$; $C_{2U2} = 9{,}9$; $C_{2U3} = 7{,}84$.

В *i*-ом сечении вычислили следующие углы потока:
- угол входа потока на решетку (в градусах)

$$\beta_{1i} = \text{arctg}(C_a/u_i) \times 180/\pi,$$

$\beta_{11} = 52{,}41$; $\beta_{12} = 36{,}12$; $\beta_{13} = 32{,}21$;
- угол выхода потока (в градусах)

$$\beta_{2i} = \text{arctg}(C_a/(u_i - C_{2Ui})) \times 180/\pi,$$

$\beta_{21} = 62{,}13$; $\beta_{22} = 43{,}14$; $\beta_{23} = 36{,}35$;

- угол среднегеометрической скорости (в градусах)

$$\beta_{mi} = \text{arctg}(C_a/((u_i - C_{2Ui})/2)) \times 180/\pi,$$

$\beta_{m1} = 56{,}21$; $\beta_{m2} = 39{,}24$; $\beta_{13} = 34.31$;

- угол среднегеометрической скорости (в радианах)

$$\beta_{mi} = \text{arctg}(C_a/((u_i - C_{2Ui})/2)),$$

$\beta_{m1} = 0{,}9$; $\beta_{m2} = 0{,}68$; $\beta_{13} = 0{,}51$;

- нагруженность решетки

$$(C_{y\tau})_i = \Psi_t \times \cos(\beta_{mi})/(\bar{r}_i - \Psi_t/4),$$

$(C_{y\tau})_1 = 0{,}64$; $(C_{y\tau})_2 = 0{,}36$; $(C_{y\tau})_3 = 0{,}26$;

- густота решетки

$$\tau_i = Z \times b/\pi \times D \times \bar{r}_i,$$

$\tau_1 = 0{,}61$; $\tau_2 = 0{,}47$; $\tau_3 = 0{,}38$

- коэффициент подъемной силы

$$C_{yi} = (C_{y\tau})_i/\tau_i,$$

$C_{y1} = 0{,}72$; $C_{y2} = 0{,}64$; $C_{y3} = 0{,}53$.

В работе произведен расчет КПД осевой ступени и мощность на валу вентилятора. Обратный коэффициент качества решетки принять равным [175]: $M = 0{,}04$. Механический КПД $\eta_m = 0{,}95$. КПД решетки определили по формуле:

$$\eta_r = (1 - \mu \times \text{tg}(\beta_{mi}))/(1 + \mu \times 1/\text{tg}(\beta_{mi})) = 0{,}93.$$

Полный КПД ступени $\eta = \eta_r \times \eta_м = 0{,}89$.

Мощность на валу определили по формуле:

$$N = P \times L/\eta = 5118 \text{ Вт}.$$

Результаты расчета профилей лопасти приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты расчета профилей лопасти

i	r_i	r_i^-	u_i	C_{2ui}	β_{1i}	β_{2i}	β_{mi}	$(C_{y\tau})_i$	τ_i	C_{yi}
	м	-	м/с	м/с	Град.	Град.	Град.	-	-	-
1	0,242	0,524	37,84	13,38	52,41	62,13	0,9	0,64	0,61	0,72
2	0,328	0,723	50,86	9,91	36,12	43,14	0,68	0,36	0,47	0,64
3	0,414	0,891	63,84	7,84	32,21	36,15	0,51	0,22	0,38	0,53

Выводы

1. Предложен и сконструирован новый по конструкции отводящий рольганг непрерывных станов;
2. Предложен и сконструирован осевой вентилятор отводящего рольганга нового непрерывного стана;
3. Предложена и сконструирована шестеренная клеть отводящего рольганга нового непрерывного стана;
4. Доказано, что при транспортировке полос на новом отводящем рольганге за счет значительного снижение давления металла на ролики уменьшается износ и поломка роликов, а также отказ роликов предлагаемого отводящего рольганга.

3 РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ОТВОДЯЩЕГО РОЛЬГАНГА НОВОЙ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА AVTODESK INVENTOR

Современное сталепрокатное производство представляет собой сложный многодельный технологический процесс, каждое звено которого выдвигает свои специфические требования к электромеханическому оборудованию [104]. При этом, перспективным направлением модернизации прокатного оборудования являются достижение высокого качества продукции и снижение энергозатрат. Одним из направлением повышение качества листопрокатной продукции и снижение энергозатрат является усовершенствования конструкции отводящего рольганга непрерывного широкополосного стана (НШПС). Отводящий рольганг является оборудованием, входящим в комплектную установку прокатного стана, он работает в достаточно тяжелых условиях.

Необходимо отметить, что ролики отводящего рольганга, является одним из массивных элементов, подвергается интенсивному износу и частым поломкам, что приводит к значительным отказам рольганга [6,180,181]. Лишь по причине износа бочек роликов отводящего рольганга НШПС – 1700 АО «Арселор Миттал Темиртау» в течение года выходит из строя порядка 280 – 330 роликов, что для рольганга НШПС – 1700 составляет до 80 % годового расхода роликов [7,8].

Интенсификация скоростей транспортирования, обеспечение высокого качества поверхности полос требуют от ролика повышенных эксплуатационных показателей, основными из которых являются [6,182,183]:

- минимальный осевой момент инерции;
- минимизация дисбаланса вследствие температурных деформаций при одностороннем нагреве;
- способность хорошо сопротивляться износу при трении.

В настоящее время на отводящих рольгангах НШПС горячей прокатки применяются пустотелые ролики с чугунной бочкой [6,182,183]. Кроме них, используются сплошные ролики, с несущей осью и антифрикционным бандажом, ролики с транспортирующими дисками. Данные ролики удовлетворительно обеспечивают требования к качеству поверхности полосы. Однако подавляющее большинство их, помимо относительных преимуществ, обладает значительным недостатком, как: повышенная металлоемкость, низкое сопротивление износу, наличие большого количества сопрягаемых элементов, сложность конструктивных схем, усложняющих монтажно-демонтажные работы, малый срок службы. Указанные недостатки в условиях металлургических предприятий, характеризуемых, как правило, массовым или же крупносерийным типом производства металла, приводят к значительным простоям оборудования, и рольгангов, в частности.

Известно, что на качество листового материала существенное влияние оказывает состояние поверхностей роликов отводящего рольганга, их рельеф [163,164].Повреждение нижней поверхности горячекатаных полос обусловлено главным образом трением их о ролики рольгангов стана. При этом вероятность образования продиров, рисок и других механических повреждений возрастает в случаях сильного износа поверхности роликов, неправильной их установки и заклинивания.

На современных широкополосных станах для предупреждения повреждения горячекатаных полос о ролики отводящих рольгангов и повышения скорости транспортирования передних концов полос от последней клети до моталок предусматривают следующие мероприятия[6,136,138,184]: уменьшают расстояние между осями соседних роликов; повышают точность установки роликов в горизонтальной плоскости; применяют индивидуальный привод каждого ролика; обеспечивают плавное нарастание скорости вращения роликов по длине отводящего рольганга; повышают износостойкость роликов; используют воздушную подушку и т.д.

Анализ многочисленных литератур[185,186] свидетельствует о том, что существующие подходы к совершенствованию работы отводящих рольгангов не дают возможности резкого увеличения их работоспособности. На наш взгляд, качественное улучшение перемещения горячекатаных полосы можно достигнуть только с применением рольгангов принципиально новой конструкции, например с использованием принципа воздушной подушки в прокатном производстве.

Следовательно, обеспечение снижения износа роликов путем применение принципиально новой конструкции отводящего рольганга является актуальной задачей.

3.1 Расчет размеров и проверка прочности деталей шестеренных клетей нового отводящего рольганга с использованием программного продукта Autodesk Inventor

В настоящее время для конструирования шестеренных клетей отводящего рольганга наиболее эффективным видится применение CAD-системы среднего уровня (например, SolidWorks или AutodeskInventor) с интегрированным в ее состав расчетным CAE-модулем, предназначенным для решения упругих задач механики деформируемого твердого тела методом конечных элементов [187].

Преимущества такого подхода к проектированию шестеренных клетей отводящего рольганга является [187]:

- возможность в единой интегрированной среде конструирования и расчета создавать твердотельные модели деталей клети и рассчитывать напряженно-деформированное состояние этих деталей в каждой точке их объема;
- способность моделировать сборку отдельных узлов и всей клети в целом;
- возможность по моделям в автоматизированном режиме получать рабочие чертежи с соблюдением правил ЕСКД;
- наличие библиотек стандартных изделий, материалов и текстур, освобождающих пользователя от необходимости поиска в справочной литературе и ввода таких данных, как коэффициент Пуассона, модуль упругости, предел прочности материалов и др.

Расчет зубчатых зацеплений деталей шестеренной клети произведен в приложении «Генератор компонентов цилиндрического зубчатого зацепления», где выполняются геометрические расчеты для подбора различных корректировок распределения, включая корректировку с компенсацией скольжений [187].

Генератор рассчитывает геометрические параметры зубчатых колес, проверяет размеры и силы нагрузки, а также выполняет проверку прочности в соответствии со стандартами Bach, Merrit, CSN 01 4686, ISO 6336, DIN 3990, ANSI/AGMA 2001-D04: 2005 или ANSI [187].

Генератор цилиндрического зубчатого зацепления позволяет выполнять следующие действия [187]:

- проектирование и вставка колеса;
- проектирование и вставка соединения двух колес;
- вставка колес как компонентов, элементов или только расчетов;
- проектирование колес на основе различных исходных параметров, например числа зубов или межосевого расстояния;
- расчет зубчатых колес на основе различных методов проверки прочности, например по стандартам ANSI или ISO;
- расчет мощности, скорости или крутящего момента;
- подбор материала цилиндрического зубчатого зацепления.

Результаты расчета размеров деталей шестеренной клети и проверка прочности наружных зацеплений с прямыми зубьями приведены в приложении А.

Таким образом, определены все геометрические размеры деталей входящие в шестеренную клеть. Проведены прочностные расчеты

зубчатых колес. Установлено, что зубчатые колеса с расчитанными размерами будут эксплуатироваться без поломки. Результаты расчета полученные аналитическим методом и с использованием программы Autodesk Inventorдостаточно согласуется. Расхождение значение не превышает 7-10%.

3.2 Расчет напряженно-деформированного состояния деталей шестеренной клети отводящего рольганга с использованием программного продукта Autodesk Inventor

Расчет напряженно-деформированного состояния деталей шестеренной клети нового отводящего рольганга реализовано с использованием программы конечно-элементного анализа Autodesk Inventor. Система компьютерного моделирования Autodesk Inventor позволяет исследовать кинематику, динамику механизмов с возможностью расчета напряженно–деформированного, как отдельных элементов, так и конструкции в целом.

С использованием стандартной программы Autodesk Inventor создали 3D модель цилиндрической шестеренной клети нового отводящего рольганга (рисунке 3.1) и рассчитали распределение напряжений, контактное давление, смещение,коэффициент запаса прочности, смещение по оси X,Y и Z, эквивалентную деформацию в шестеренной клети.

Сборочная трехмерная геометрическая модель шестеренной клети, была построена в CAD программе Inventor. Для возможности автоматической коррекции геометрии модели инструмента, был использован метод параметризации геометрических размеров конструкции. Данный метод позволяет по результатам расчета на прочность, вносить соответствующие изменения в конструкцию шестеренной клети.

В качестве материала для шестеренной клети был выбран из базы данных материалов Autodesk Inventor сталь марки 40ХН с механическими свойствами: модуль упругости 206000 МПа, предел прочности 640 МПа, предел текучести 390 МПа, коэффициент Пуансона 0,3.

На рисунках 3.2 – 3.11 представлены результаты расчета в виде картины распределения эквивалентных напряжений и деформаций, перемещений, контактного давления и запасов прочности силовых

элементов конструкции шестеренной клети.

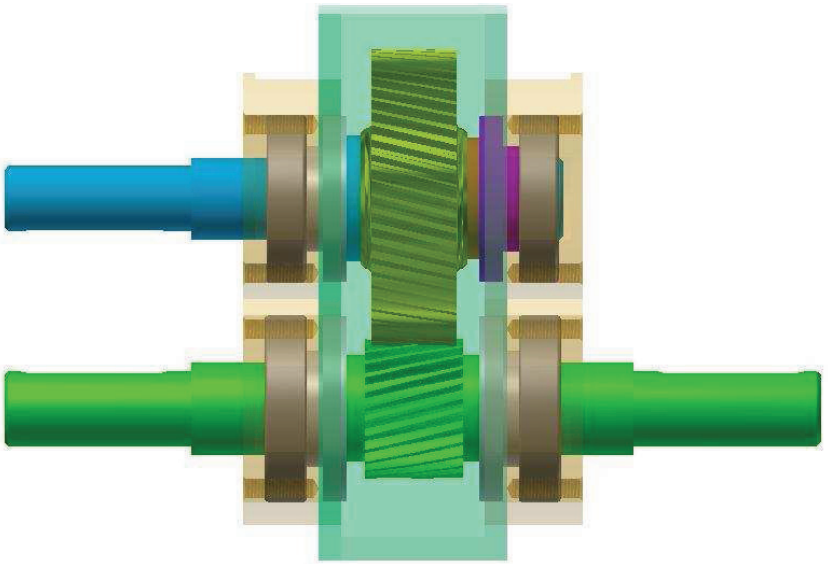


Рисунок 3.1 – 3D модель шестеренной клети

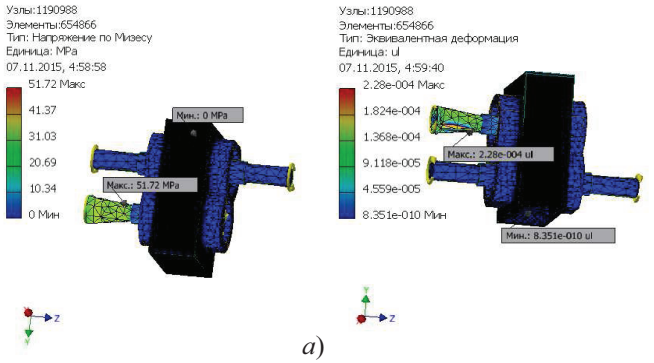
Проведенные на конечно-элементных моделях расчеты показали, что:

– полученные максимальные значения эквивалентных напряжений (31,3 МПа, рисунок 3.2,*а*) и деформации (0,00137, рисунок 3.2,*б*) не превышают максимально допустимое для данного материала значение предела прочности 640 МПа. При этом максимальные значения напряжений и деформаций наблюдаются в зубьях и шейках зубчатых колес;

– картина распределения смещения согласуется с деформированной формой конструкции, показанной на рисунки 3.3 и 3.4. Максимальное значение смещения (смещение 0,0275 мм (по оси X), 0,0264 мм (по оси Y) и 0,0012 мм (по оси Z)) наблюдается в зубьях зубчатых колес;

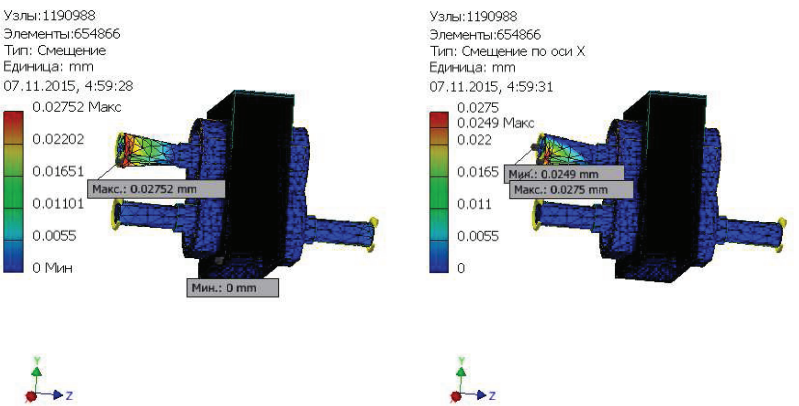
- полученные максимальные значения компонентов тензора напряжений (σ_{xx}=27,56 51 МПа,σ_{yy}= 29,83 51 МПа, σ_{zz}=46,51МПа, σ_{xy}= 21,22 МПа,σ_{xz}= 28,25 Ма, иσ_{yz}= 22,46 МПа, рисунки 3.5 и 3.6) ,деформации (ε_{xx}= 0,000122,ε_{yy}= 0,000139,ε_{zz}= 0,000192, ε_{xy}= 0,000123,ε_{xz}= 0,000183, иε_{yz}=

0,000143, рисунки 3.7 и 3.8) и контактных давлении (рисунки 3.9 и 3.10) не превышают максимально допустимое для данного материала значение предела прочности 640 МПа. При этом максимальные значения напряжений и деформаций наблюдаются в зубьях и шейках зубчатых колес;



а) б)

Рисунок 3.2 – Картина распределения эквивалентной напряжений(*а*) и деформация (б) по сечению шестеренной клети



а) *б*)

Рисунок 3.3– Картина распределения суммарного смещения (*а*)и смещение по оси X (*б*) шестеренной клети

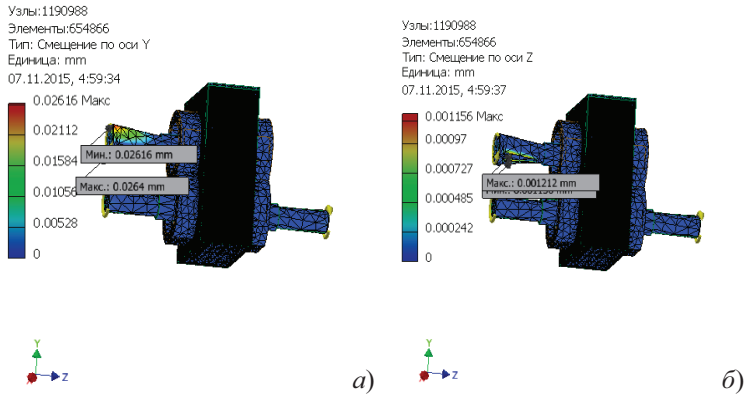


Рисунок 3.4– Картина распределения смещение по оси Y (*а*)Z (*б*) шестеренной клети

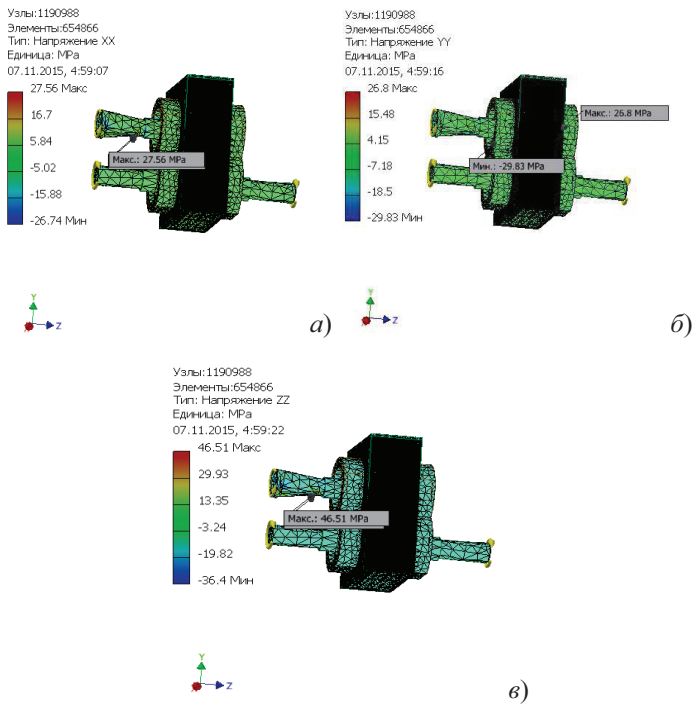


Рисунок 3.5– Картина распределения компонентов тензора напряжении σ_{xx}(*а*) σ_{yy} (*б*) иσ_{zz}(*в*) в шестеренной клети

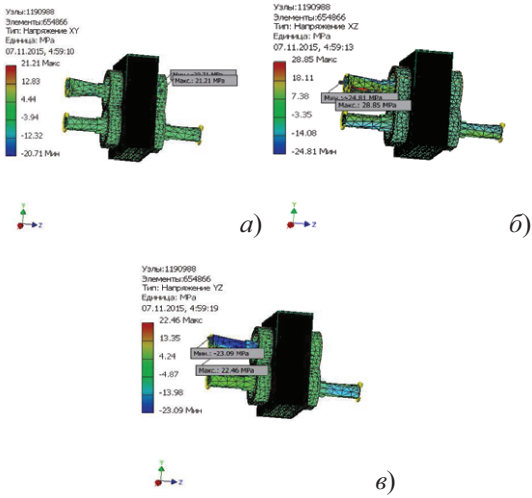


Рисунок 3.6– Картина распределения компонентов тензора напряжении σ_{xy}(*а*) σ_{xz} (*б*) иσ_{yz}(*в*) в шестеренной клети

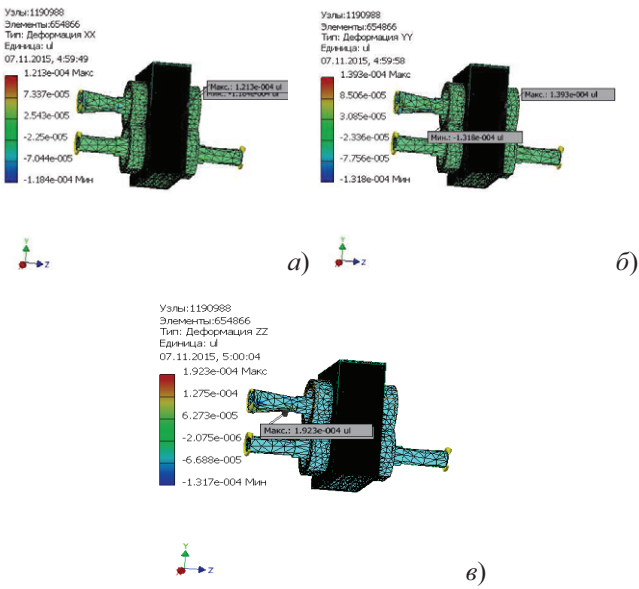
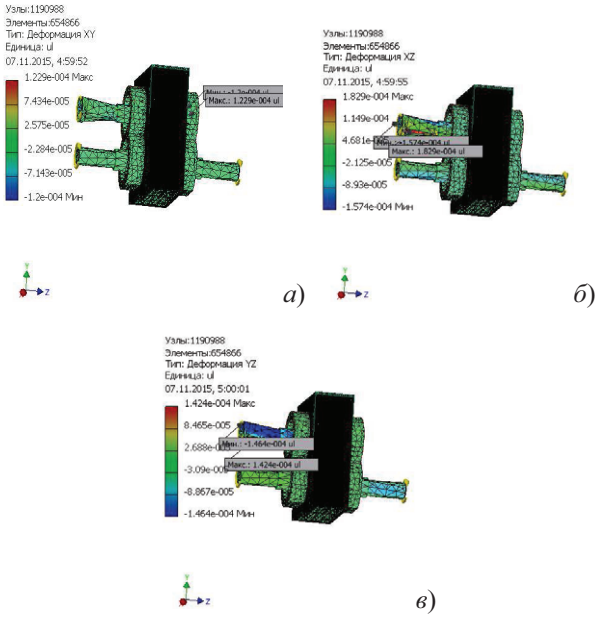


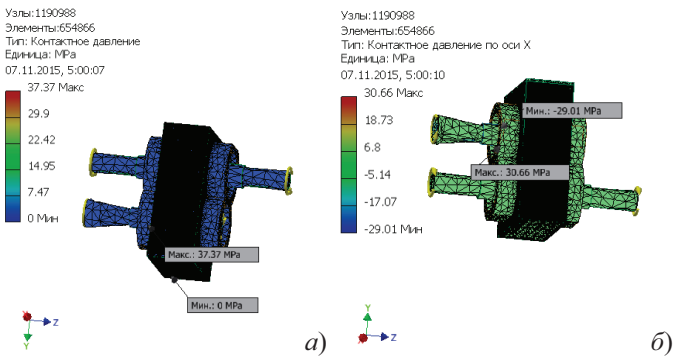
Рисунок 3.7– Картина распределения компонентов тензора деформации ε_{xx}(*а*) ε_{yy} (*б*) иε_{zz}(*в*) в шестеренной клети



а) *б*)

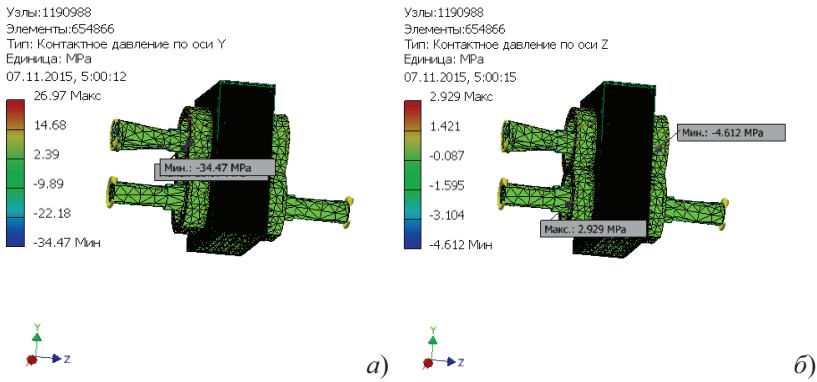
в)

Рисунок 3.8 – Картина распределения компонентов тензора деформации ε_{xy}(*а*) ε_{xz}(*б*) иε_{yz}(*в*) в шестеренной клети



а) *б*)

Рисунок 3.9– Картина распределения контактного давления (*а*) и контактного давления по оси X (*б*) шестеренной клети



а) *б*)

Рисунок 3.10– Картина распределения контактного давления по оси Y(*а*) и Z (*б*) шестеренной клети

– распределение запаса прочности по конструкции, рисунок 3.11, в целом удовлетворяет условию прочности, при принятом коэффициенте запаса прочности 5.

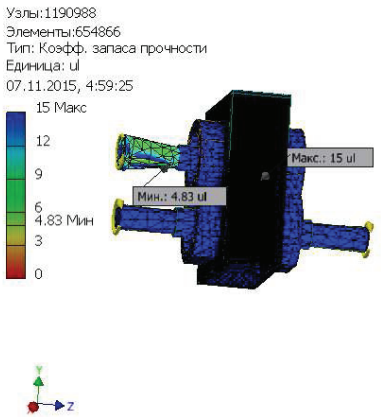


Рисунок 3.11– Картина распределения коэффициента запаса прочности по сечению шестеренной клети

3.3 Расчет напряженно-деформированного состояния роликов отводящего рольганга с использованием программного продукта Autodesk Inventor

Ролики – самые ответственные детали отводящего рольганга. Давление, возникаемая при транспортировке листовна отводящем рольганге, воспринимается роликами. Поэтому при конструировании и изготовлении роликов особое внимание уделяется их прочности и жесткости.

Исходными данными для расчета являются твердотельная геометрическая форма конструкции секции отводящего рольганга, условия закрепления и силы, приложенные к транспортируемому листу и роликам отводящего рольганга.

При расчете выполняется построение геометрической и конечно–элементной модели рассчитываемой секции, условий закрепления, приложение сил на транспортируемый лист и расчет напряженно–деформированного состояния роликов и оценка прочности роликов отводящего рольганга [188].

Методика расчета реализована с использованием программы конечно–элементного анализа Autodesk Inventor. Система компьютерного моделирования Autodesk Inventor позволяет исследовать кинематику, динамику механизмов с возможностью расчета напряженно–деформированного, как отдельных элементов, так и конструкции в целом.

Сборочная трехмерная геометрическая модель отводящего рольганга, была построена в CAD программе Inventor. Для возможности автоматической коррекции геометрии модели отводящего рольганга, был использован метод параметризации геометрических размеров конструкции. Данный метод позволяет по результатам расчета на прочность, вносить соответствующие изменения в конструкцию отводящего рольганга.

Таким образом, в ходе предварительного анализа работы отводящего рольганга, был принят к расчету наиболее нагруженный силовой элемент отводящего рольганга, как ролик.

Со стороны нижней части отводящего рольганга на транспортируемую полосу действует воздух с большим давлением направляемый от вентилятора. Это позволяет уменьшить величину вертикальных сил, которые возникают на роликах при движение полосы по отводящему рольгангу.

В качестве материала для роликов был выбран из базы данных материалов Autodesk Inventorсталь марки – 35с механическими свойствами: модуль Юнга200 ГПа, предел прочности 420 МПа, коэффициент Пуансона 0,3.

3.3.1 Результаты и обсуждение

Результаты исследования распределение напряженно-деформированного состояния при транспортировке полосы толщиной 12 мм на отводящем рольганге с нижним воздушным давлением и без воздушного давления представлено на рисунках 3.12-3.19 и 3.20-3.27, соответственно.

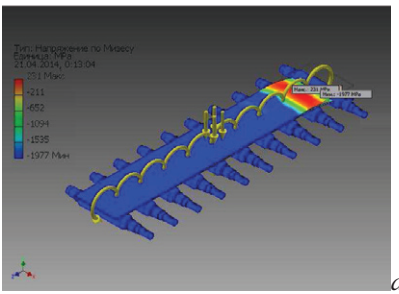
Проведенные расчеты показали [189], что:

–эквивалентные напряжения и деформаций, суммарные перемещения, компоненты тензора напряжений и деформации при транспортировке

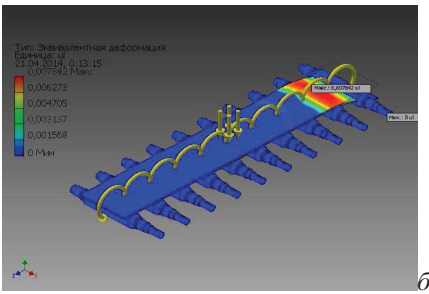
полосы в отводящем рольганге с нижним воздушным давлением значительно падает. Снижение величины эквивалентных напряжений и деформаций приводит к значительному уменьшению износа и поломок роликов, при этом отказ рольгангов будет наблюдаться очень редко;

- при транспортировке полос в рольганге с нижним воздушным давлением полученные максимальные значения эквивалентных напряжений (153,771МПа, рисунок 3.20,*а*) и деформации (0,000693656, рисунок 3.20,*б*) не превышают максимально допустимое для данного материала значение предела прочности 640 МПа. При этом величины эквивалентных напряжений и деформаций значительно меньше по сравнению с эквивалентными напряжениями(231,1МПа, рисунок 3.12,*а*)и деформациями (0,00784182, рисунок 3.12,*б*), полученными при транспортировкой полос без нижнего воздушного давления;

–при транспортировке полос в рольганге с нижним воздушным давлением максимальное значение смещения по оси X (0,0395345 мм), по оси Y (0,541817 мм) и по оси Z (0,194713 мм) значительно меньше (рисунки 3.21 и 3.22), по сравнению со смещениями(по оси X (0,147172), по оси Y (8,49907) и по оси Z (3,8522 мм)),полученными при транспортировке полос без нижнего воздушного давления(рисунки 3.14 и 3.15);

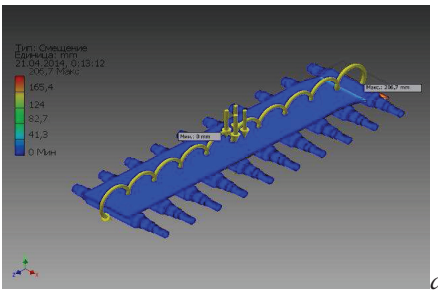


а)

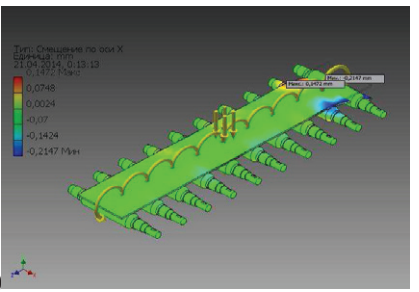


б)

Рисунок 3.12 – Картина распределения эквивалентных напряжений (*а*) и деформаций (*б*)в роликах при транспортировке полос в рольганге без нижнего воздушного давления



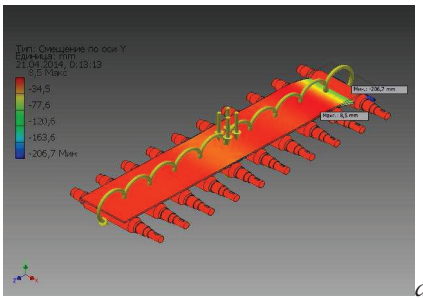
а)



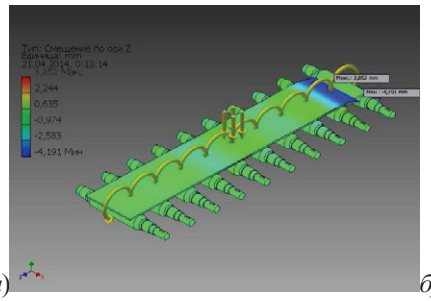
б)

Рисунок 3.13– Картина распределения суммарного смещения (*а*)и смещение по оси X (*б*) в роликах при транспортировке полос в рольганге без нижнего воздушного давления

- полученные максимальные значения компонентов тензора напряжений (σ_{xx} =67,4703 МПа, σ_{yy}=30,2311МПа, σ_{zz}=171,48 МПа, σ_{xy}= 5,2 МПа, σ_{xz} = 5,2Ма, и σ_{yz}= 2,52 МПа, рисунки 3.23 и 3.24) и деформации (ε_{xx}= 0,000300224, ε_{yy}= 0,000276757, ε_{zz}= 0,000798972, ε_{xy}= 0,000197073, ε_{xz}= 0,000133513, и ε_{yz}= 0,0000738653, рисунки 3.25 и 3.26) не превышают максимально допустимое для данного материала значение предела прочности 640 МПа. При этом данные значения напряжений и деформаций имеют величину намного меньше по сравнению с напряжениями (σ_{xx} =132,9МПа, σ_{yy}=129,9 МПа, σ_{zz}=293,9МПа, σ_{xy} = 15,1 МПа, σ_{xz} = 17,7Ма, и σ_{yz}= 4,09 МПа, рисунки 3.15 и 3.16)и деформациями (ε_{xx} = 0,000955311, ε_{yy} = 0,00360929, ε_{zz}= 0,000798972, ε_{xy} = 0,000721088, ε_{xz} = 0,000510976, и ε_{yz}= 0,000340595, рисунки 3.17 и 3.18) при транспортировке полос без нижнего воздушного давления;

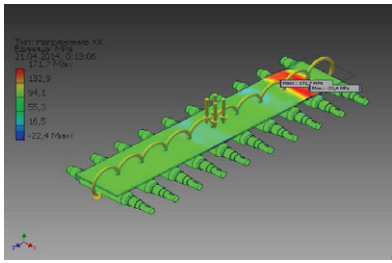


а)

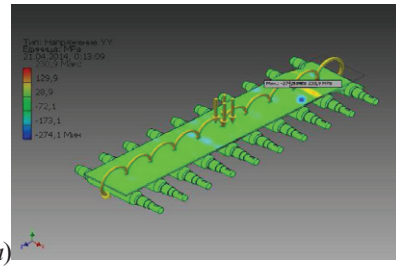


б)

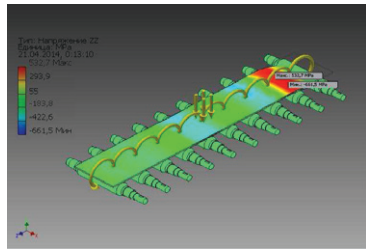
Рисунок 3.14– Картина распределения смещение по оси Y (а) и Z (*б*) в роликах при транспортировке полос в рольганге без нижнего воздушного давления



а)

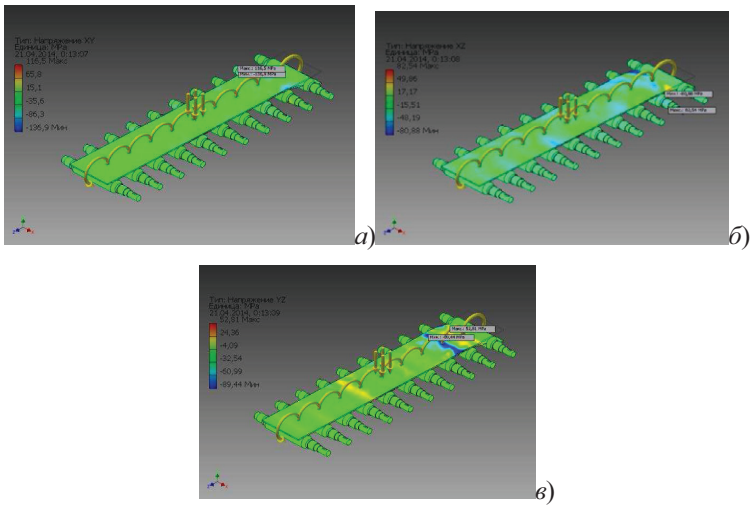


б)



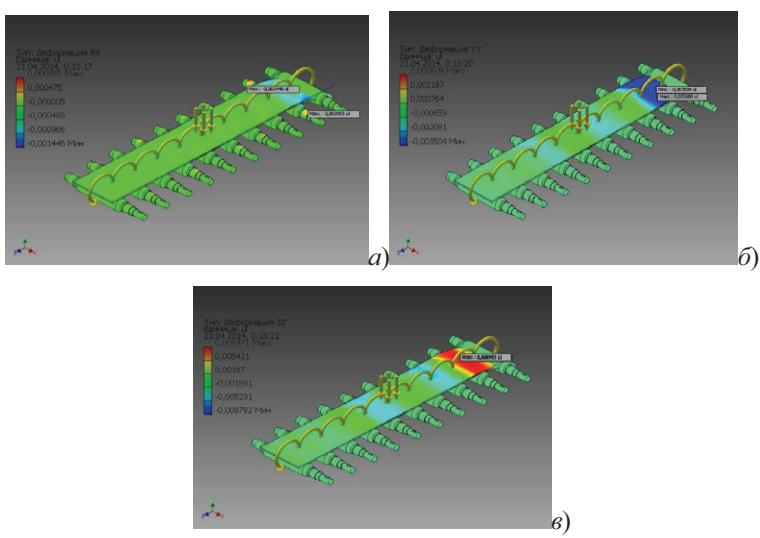
в)

Рисунок 3.15– Картина распределения компонентов тензора напряжений σ_{xx}(*а*) σ_{yy} (*б*) иσ_{zz}(*в*) в роликах при транспортировке полос в рольганге без нижнего воздушного давления



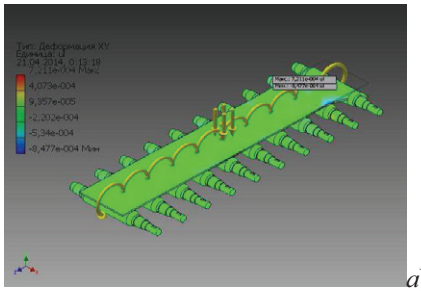
а) *б*) *в*)

Рисунок 3.16– Картина распределения компонентов тензора напряжений σ_{xy}(*а*) σ_{xz} (*б*) иσ_{yz}(*в*) в роликах при транспортировке полос в рольганге без нижнего воздушного давления

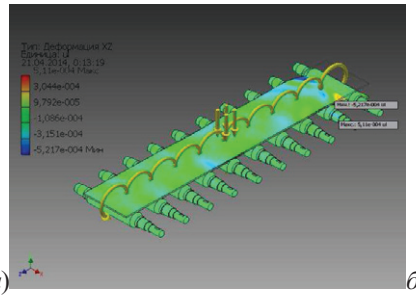


а) *б*) *в*)

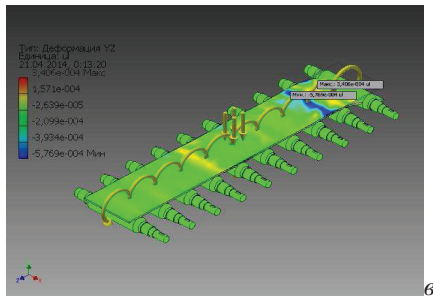
Рисунок 3.17– Картина распределения компонентов тензора деформации ε_{xx}(*а*) ε_{yy} (*б*) иε_{zz}(*в*) в роликах при транспортировке полос в рольганге без нижнего воздушного давления



а)



б)



в)

Рисунок 3.18 – Картина распределения компонентов тензора деформации ε_{xy}(*а*) ε_{xz} (*б*) иε_{yz}(*в*) в роликах при транспортировке полос в рольганге без нижнего воздушного давления

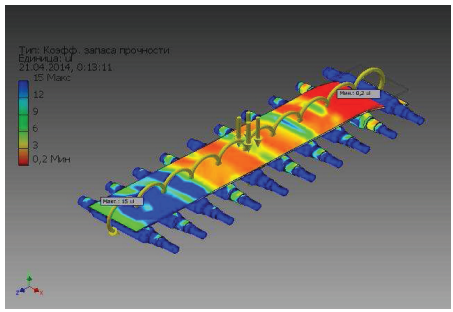


Рисунок 3.19– Картина распределения коэффициента запаса прочности в роликах при транспортировке полос в рольганге без нижнего воздушного давления

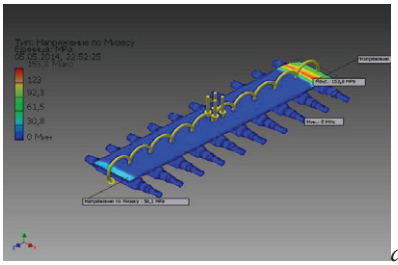
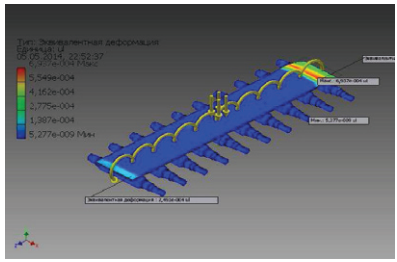

а)

б)

Рисунок 3.20 – Картина распределения эквивалентных напряжений (*а*) и деформаций (*б*)в роликах при транспортировке полос в рольганге с нижним воздушным давлением

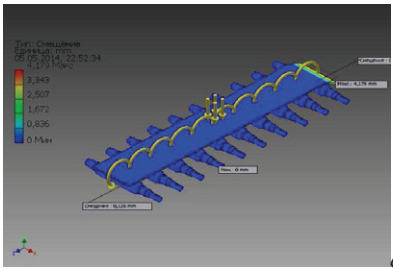
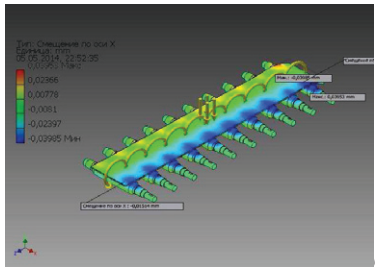

а)

б)

Рисунок 3.21– Картина распределения суммарного смещения (*а*)и смещение по оси X (*б*) в роликах при транспортировке полос в рольганге с нижним воздушным давлением

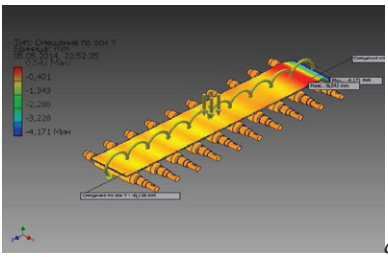
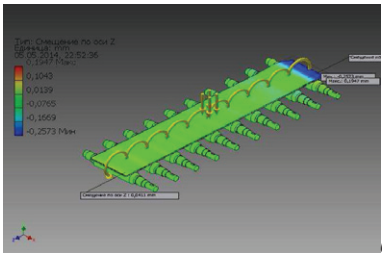
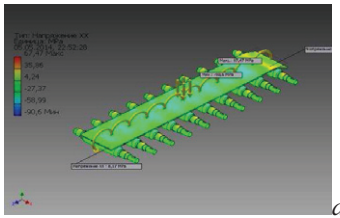
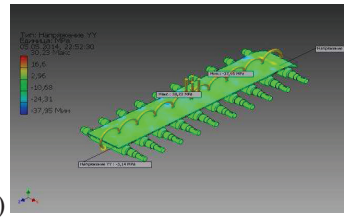

а)

б)

Рисунок 3.22– Картина распределения смещение по оси Y (а) и Z (*б*) в роликах при транспортировке полос в рольганге с нижним воздушным давлением


а)


б)

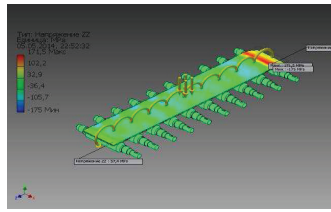
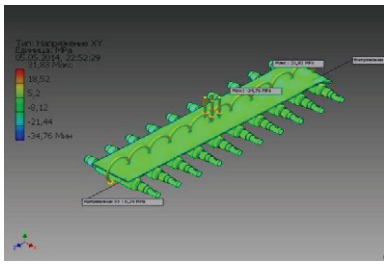
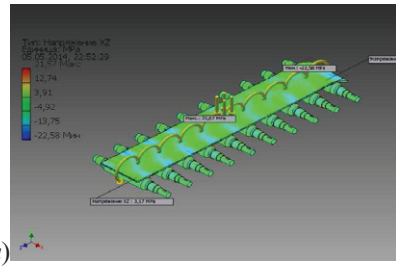

в)

Рисунок 3.23– Картина распределения компонентов тензора напряжений σ_{xx}(*а*) σ_{yy} (*б*) иσ_{zz}(*в*) в роликах при транспортировке полос в рольганге с нижним воздушным давлением


а)


б)

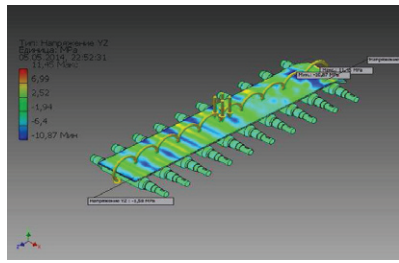
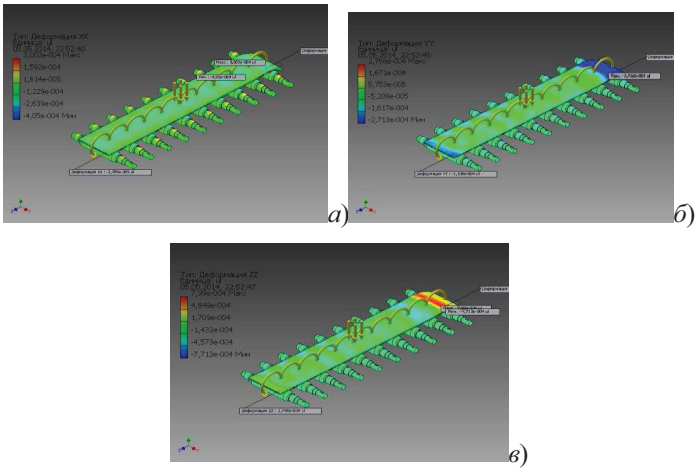

в)

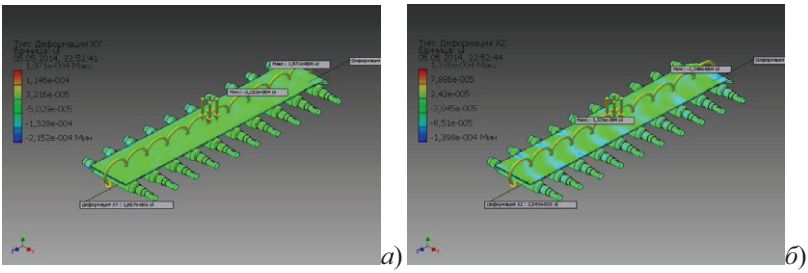
Рисунок 3.24– Картина распределения компонентов тензора напряжений σ_{xy}(*а*) σ_{xz} (*б*) иσ_{yz}(*в*) в роликах при транспортировке полос в рольганге с нижним воздушным давлением



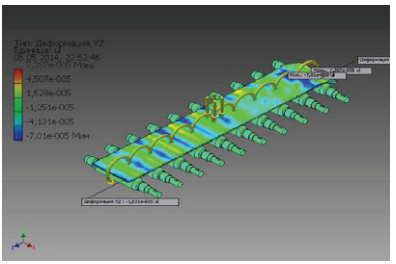
а) *б*)

в)

Рисунок 3.25– Картина распределения компонентов тензора деформации ε_{xx}(*а*) ε_{yy} (*б*) иε_{zz}(*в*) в роликах при транспортировке полос в рольганге с нижним воздушным давлением



а) *б*)



в)

Рисунок 3.26– Картина распределения компонентов тензора деформации ε_{xy}(*а*) ε_{xz} (*б*) иε_{yz}(*в*) в роликах при транспортировке полос в рольганге с нижним воздушным давлением

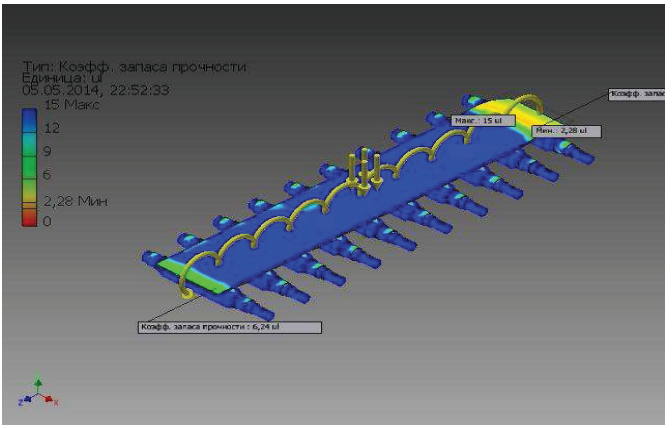


Рисунок 3.27– Картина распределения коэффициента запаса прочности в роликах при транспортировке полос в рольганге с нижним воздушным давлением

На рисунке 3.28 представлены результаты расчета в виде картины распределения эквивалентных напряжений и деформаций, суммарных перемещений в роликах отводящего рольганга с нижним воздушным давлением при транспортировке полос толщиной 2 мм.

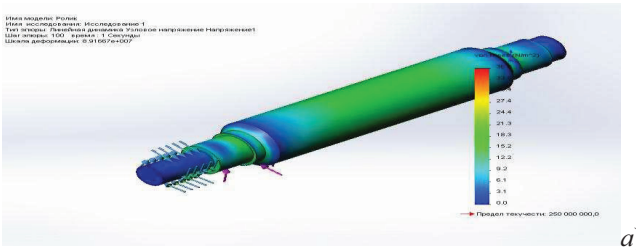
Проведенные на конечно–элементных моделях расчеты показали, что:

–максимальное эквивалентное напряжения в бочке роликов равняется 27,5 Па, а для шейки роликов – 24,4 Па предлагаемого отводящего рольганга. Причем максимальное эквивалентное напряжение возникает в бочке роликов. Полученные максимальные значения эквивалентных напряжений (27,5 Па)не превышают максимально допустимое для материала роликов значение предела прочности 420 МПа;

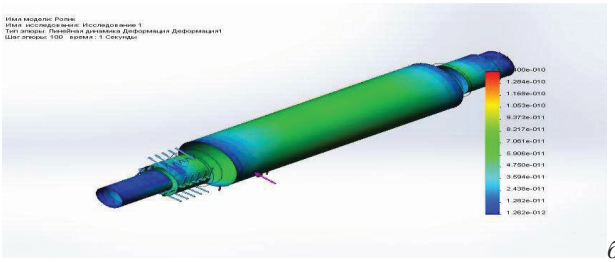
–под действием приложенных вертикальных сил ролики упруго прогибаются в направлении действия силы, а шейка роликов упруго деформируются в этом же направлении, причем максимальное значение эквивалентной деформации составляет для бочки роликов 8,217E-011 , а для шейки роликов –7,061E-011предлагаемого отводящего рольганга;

–наибольшее значения суммарных перемещений сосредотачиваются в не приводной стороне располагающем шейке роликов отводящего рольганга. Максимальное значение перемещения равняется 1,49159E-006 мм;

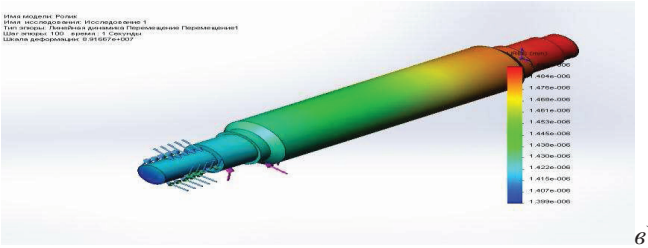
–в целом величина упругой деформации элементов роликов невелика, что свидетельствует о уменьшение усилия возникаемой на роликах предлагаемого отводящего рольганга. Это гарантирует возможность уменьшение износа и поломок, а также отказа роликов предлагаемого отводящего рольганга.



а)



б)



в)

Рисунок 3.28 – Картина распределения эквивалентных напряжений (*а*) и деформаций (*б*), а также суммарных перемещений(*в*) в роликах при транспортировке полос в рольганге с нижним воздушным давлением

Выводы

1. Распределение запаса прочности нажимных механизмов первых трех клетей нового стана удовлетворяет условию прочности (рассчитанный запас прочности не превышает принятый коэффициент запаса прочности);

2. Спроектированные подушки, шестеренные клети первых трех клетей многофункционального стана обладают достаточным коэффициентом запаса прочности;

3. Результаты расчетов по аналитической методике и с использованием программы KOMPAS 3D, Autodesk Inventorдостаточно согласуются между собой. Расхождение значений определяемых величин не превышает 5-7%.

4. Предложен и сконструирован новый по конструкции отводящий рольганг непрерывных станов;

5. Показано, что максимальные значения эффективного напряжения и деформации не превышают максимально допустимое для материала роликов значение предела прочности;

6. Доказано, что максимальные концентрации напряжений и деформаций наблюдаются в бочках и шейке роликов, а максимальное значение перемещения наблюдается в не приводной стороне располагающем шейке роликов отводящего рольганга;

7. Доказано, что при транспортировке полос на новом отводящем рольганге за счет значительного снижение давления металла на ролики величина его упругой деформации уменьшается. Это гарантирует возможность уменьшение износа и поломок, а также отказа роликов предлагаемого отводящего рольганга.

4 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ И ОХЛАЖДЕНИЕ ПОЛОС НА НЕПРЕРЫВНОМ ПРОДОЛЬНО-КЛИНОВОМ СТАНЕ И ОТВОДЯЩЕМ РОЛЬГАНГЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В настоящее время обеспечение высокого качества тонкого проката (0,6–2,0 мм) является наиболее перспективным направлением развития производства горячекатаных полос [18,26,27,190,191,192]. Горячекатаные полосы можно использовать взамен более дорогого холоднокатаного. При производстве сверхтонких холоднокатаных полос применение тонких горячекатаных полос в качестве подката, позволяет значительно снизить себестоимость последних (минимум на 20%) [27,150]. Однако замена холоднокатаных полос горячекатаным возможна лишь в том случае, когда горячекатаный прокат будет полностью удовлетворять ряду технологических требований, т.е. иметь удовлетворительную микроструктуру и требуемый уровень механических свойств и т.д.

Эффективным инструментом воздействия на формирование структуры и свойств стали является целенаправленная горячая прокатка

листов на соответствующем стане в сочетании с контролируемым охлаждением [12,193]. Поэтому использование резервов повышения качества листов за счет совершенствования конструкции стана и температурно-деформационных режимов прокатки становится одной из важнейших задач, стоящих перед производителями проката.

Известно, что горячая деформация аустенита с контролируемым температурно-деформационным режимом и последующее охлаждение проката является одним из наиболее эффективных способов повышения свойств проката [194]. Разработаны и активно используются многочисленные схемы термомеханической обработки (ТМО) проката. При производстве углеродистых листов большой интерес представляют схема ТМО с получением структуры перлита, основанная на пластической деформации стали в аустенитном состоянии и последующем изотермическом превращении аустенита в перлитной области.

При прочих равных условиях увеличение скорости охлаждения приводит к повышению прочностных свойств прокатанного металла [12]. При этом снижается пластические свойства. При очень высокой скорости охлаждения на поверхности полосы образовывается подкаленный слой металла. К несоответствию механических свойств горячекатаного проката к требованиям стандартов, т.е. к получению брака, может привести неоднородность микроструктуры по толщине полосы, повышенная твердость и «хрупкость» подкаленной поверхности.

Таким образом, микроструктура горячекатаных тонких полос, произведенных на известных станах, часто характеризуется значительной разнозернистостью (крупное зерно на поверхности), что приводит при использовании такого металла для холодной штамповки к образованию различных дефектов [195]. Основной причиной разнозернистости тонких полос является неправильное назначение температурно-деформационных режимов прокатки и охлаждения.

Поскольку станы горячей прокатки существенно различаются между собой по конструкции (по количеству и расположению клетей, моталок, длине промежуточных и отводящих рольгангов, мощности главных приводов и др.), технология производства на них листовой продукции отличается. Технологические решения, эффективные для одного стана, часто оказываются неприемлемыми для другого [196]. Поэтому, исследование влияния температурных режимов прокатки и смотки, а также режимов охлаждения полос на качество горячекатаного проката, прокатанных и охлажденных на новом стане и отводящем рольганге имеет большое значение.

При деформировании металлических листов в условиях высоких температур активно протекают конкурирующие неравновесные процессы, связанные с их упрочнением и разупрочнением [197]. Основной вклад в упрочнение вносит увеличение в металле плотности дислокаций.

Разупрочнение в сплаве происходит за счет динамического возврата, полигонизации и рекристаллизации [198]. В некоторых сплавах при определенных температурно-скоростных условиях деформации обеспечивается динамическое блокирование свободных дислокаций примесными атомами и включениями [199,200], что приводит к росту напряжения деформирования.

Протекание упрочняющих и разупрочняющих процессов в сплаве приводит к изменению конечной микроструктуры сплава, что в свою очередь отражается на свойствах листовой продукции [197]. Поэтому для понимания и моделирования процессов, происходящих в ходе деформации материала, необходимо знать термомеханические условия возникновения упрочнения и разупрочнения.

Необходимо отметить, что положительный эффект применения ТМО основан на измельчении колоний и субколоний перлита, что приводит к повышению важнейших механических свойств проката (ударной вязкости, трещиностойкости и температуры хладноломкости) [201]. Однако определение рациональных режимов технологического процесса прокатки и его промышленное освоение по-прежнему вызывают значительные трудности. Решение этой проблемы возможно только при комплексном анализе процессов формоизменения и структурообразования в ходе прокатки и охлаждения стали.

В условиях рыночной экономики повышение качества выпускаемой продукции, т.е. в настоящем случае листового проката, до уровня мировых стандартов, особенно за счет применения новых агрегатов и передовых технологий, является одной из важных научно-практических задач [202].

В настоящее время существует несколько способов повышения механических и эксплуатационных свойств. К ним можно отнести легирование, термообработку, контролируемую прокатку и ускоренное охлаждение [203]. Наиболее перспективным направлением развития технологии производства высокопрочных сталей является контролируемая прокатка с последующим ускоренным контролируемым охлаждением (УКО). Охлаждение осуществляется с прокатного нагрева путем отведения тепла охлаждающей средой (водой), подаваемой на поверхность горячего раската. При этом способ и скорость подачи воды на металл существенно влияют на конечные свойства готового проката.

Для возможности производства конкурентоспособной продукции большинство современных листовых станов (ЛС) оборудованы установками контролируемого охлаждения, которые располагаются в линии стана за прокатной клетью [204,205].

Технико-экономическая обоснованность применения УКО на ЛС продиктована рядом достигаемых преимуществ [203]:

− повышение качества и потребительских свойств продукции;

− снижение себестоимости за счет снижения содержания дорогостоящих легирующих элементов, а так же за счет отсутствия необходимости дополнительной термической обработки;

− повышение производительности стана;

− расширение сортамента.

Существующие установки контролируемого охлаждения можно классифицировать по нескольким признакам [206].

По схеме перемещения охлаждаемого листа [206]:

− одновременного охлаждения, при котором подача воды осуществляется на всю поверхность раската одновременно. При этом возникает проблема ограничения длины раската из-за ограниченной длины зоны охлаждения установки;

− последовательного охлаждения, при котором полоса равномерно и последовательно движется через зону охлаждения.

По способу подачи воды на поверхность существующие установки ускоренного охлаждения можно разделить на охлаждающие устройства [204,205,206]: ламинарными струями; струями воды из форсунок (душирующие); водяной подушкой; водо-воздушной смесью; водяной завесой.

Реализуемые режимы можно разделить на три основных типа [203]:

− ускоренное охлаждение (ACC – Accelerated Controlled Cooling);

− прямая закалка (DQ – Direct Quench);

− закалка с самоотпуском (DQST – Direct Quench and Self Tempering).

Режим ACC можно разделить на мягкое и жесткое (HACC) ускоренное охлаждение [203,207]. Мягкое охлаждение осуществляется со скоростью 10-20 ^{o}C/сдо температуры 450-550 ^{o}C (выше температуры мартенситного превращения). Жесткое ускоренное охлаждение протекает со скоростью 20-50 ^{o}C/с до температуры 200-450 ^{o}C. При данных режимах происходит измельчение зерен феррита и перлита и возможно образование бейнита и игольчатого феррита, что, в свою очередь, обеспечивает комплекс свойств класса прочности X80.

Прямая закалка DQ осуществляется с высокими скоростями охлаждения (свыше 50 ^{o}C/с) и последующим отпуском до комнатной температуры [203,207]. Режим закалки с последующим самоотпуском DQST производится с высокой интенсивностью отведения тепла с поверхности листа. Скорость охлаждения при этом превышает 50 ^{o}C/с. Подача воды осуществляется до того момента, пока температура поверхности не опустится ниже температуры мартенситного превращения, после чего происходит самоотпуск засчет тепла внутренних слоев металла для снятия внутренних напряжений. Полученная при этом мартенситная или бейнитно-мартенситная структура обеспечивает комплекс механических свойств, соответствующих классу прочности X100-X120.

Необходимо отметить, что наиболее сильное развитие системы УКО получили в Японии [203,208]. Японская компании по производству стали NKKCorporation разработала и ввела в эксплуатацию систему OLAC (on-LineAcceteratedCooling) для производства судостроительного проката. В дальнейшем большинство станов Японии, США и Европы стали оснащаться подобными установками, что в свою очередь повлияло на создание разнообразных новых систем и конструкций. На данный момент можно выделить наиболее распространенные системы [203,208]:

− ADCO (AdjustCooling) – система регулируемого охлаждения;

− ACP (AcceleratedCoolingProcess) – процесс ускоренного охлаждения;

− CWC (CurtainWaterCooling) – охлаждение водяной завесой;

− DAC (DynamicAcceleratedCooling) – динамичное ускоренное охлаждение;

− ICS (IntenseCoolingSystem) – система интенсивного ускоренного охлаждения;

− OLAC (on-LineAcceteratedCooling) – ускоренное охлаждение в потоке стана (дальнейшее развитие системы – SuperOLAC);

− KLC (Kobesteel'sAcceleratedCooling) – контролируемая прокатка и ускоренное охлаждение KobeSteel;

− MACS (MultipurposeAcceleratedCoo1ingSystem) – система универсального ускоренного охлаждения;

− MACOS (MannesmannAcceleratedCoolingSystem) – система ускоренного охлаждения Маннесманна;

− HDTLFS (HighDensityTubeLaminarFlowCooling) – охлаждение ламинарными струями;

− WPC (WaterPillowCooling) – охлаждение водяной подушкой.

Каждая из представленных систем обладает уникальной конструкцией и комплексом таких технологических характеристик, как способ подачи воды на поверхность, рабочее давление и расход воды, геометрические размеры зоны охлаждения, расстояние от клети, наличие оборудования для экранирования кромок полосы и т.п. [203]. Например, скорость охлаждения, реализуемая системой MULPIC, для толщины листа 10 мм составляет около 80 ^{o}C/c, тогда как у системы OLAC всего 8-25 ^{o}C/c. Диапазон регулирования скорости охлаждения для системы KLC при толщине полосы 20 мм составляет 3-25 ^{o}C/c, а система MACOS при такой же толщине способна реализовать более узкий диапазон – 8-20 ^{o}C/c. Данные характеристики напрямую влияют на такие технологические параметры реализуемого процесса, как скорость и равномерность охлаждения, производительность, ширина диапазона скоростей охлаждения, выход годного и т.п. Выбор той или иной системы УКО в первую очередь должен быть произведен с учетом сортамента выпускаемой продукции и требуемых к ней показателей механических и

эксплуатационных свойств. Также возможно совмещение нескольких систем в линии одного стана для повышения эффективности производства [206,207].

Если произвести анализ способов горячей прокатки полос и листов, то можно сделать вывод, что в листопрокатных цехах повсеместно используются способы регулируемого охлаждения движущейся стальной горячекатаной полосы, в основе которых лежит форсуночная подача воды на верхнюю и нижнюю поверхности полосы [209,210]. Можно отметить, что площадь факела форсунки, через которые подается хладагент (вода) на поверхность слитка существенно зависит от давления или расхода хладагента. При подаче на горячекатаную полосу охладителя между ним и поверхностью полосы образуются паровые подушки, препятствующие съему тепла с нагретого металла, что снижает интенсивность и равномерность охлаждения. Это является причиной нестабильности механических свойств готовых стальных полос вследствие низкой управляемости процессом теплосъема с объекта охлаждения. Кроме того, использование традиционного форсуночного охлаждения приводит к существенному загрязнению охлаждающего агента (воды), рабочей зоны паром, пылью и окалиной, что обусловливает не стационарность рабочих характеристик управляемого объекта и управляющих средств автоматики. При этом, в системе форсуночного охлаждения может быть несколько сотен форсунок, часть из которых периодически выходит из строя. Следовательно, сама система форсуночного охлаждения является главной причиной нарушения равномерности охлаждения металла.

Отмеченные недостатки форсуночного охлаждения металла не позволяют обеспечить высокое качество проката, необходимое для использования горячекатаной продукции, например, для производства труб большого диаметра.

Таким образом, растущая конкуренция на рынке металлопроката заставляет производителей повышать качество и потребительские свойства своей продукции, не допуская при этом сильного роста цен. Повышение качества и потребительских свойств продукции возможно за счет совершенствования производственного оборудования и освоения новых технологий [207,208]. Развитие систем ускоренного контролируемого охлаждения является перспективным направлением в улучшении технико-экономических показателей листовых станов. Основными проблемами систем УКО на данный момент являются [203]:

− обеспечение равномерности охлаждения по толщине листа путем выбора оптимального соотношения между объемом и скоростью подачи воды с верхней и нижней части листа;

− обеспечение возможности дифференцированного охлаждения разных частей листа (головная и концевая части, кромки) путем

применения экранов, форсунок и коллекторов с индивидуальным контролем объема и скорости подачи воды;

− расширение сортамента выпускаемой продукции в результате увеличения диапазона скоростей охлаждения;

− повышение точности контроля температуры в процессе охлаждения за счет применения современных автоматизированных систем;

− снижение энергетических и материальных затрат оборудования для снижения себестоимости продукции;

− обеспечение плоскостности полосы при интенсивном охлаждении;

− разработка принципиально новой конструкции отводящего рольганга обеспечивающей снижения износа роликов отводящего рольганга.

Анализ многочисленных литератур [202,211] свидетельствует о том, что существующие подходы к совершенствованию работы отводящих рольгангов не дают возможности резкого увеличения их работоспособности.На наш взгляд, качественное улучшение перемещения горячекатаных полосы можно достигнуть только с применением рольгангов принципиально новой конструкции, например с использованием принципа воздушной подушки в прокатном производстве.

Целью этой главы диссертационной работы является физическим моделированием различных режимов прокатки и охлаждение на новом продольно-клиновом стане и отводящем рольганге определение рациональных режимы технологического процесса прокатки и охлаждения, способствующих получению полос высокого качества.

4.1 Разработка технологий горячей прокатки и охлаждение полос из стали А1на непрерывном продольно-клиновом стане и отводящем рольганге новой конструкции с использованием метода физического моделирования

С целью прокатки качественных листов из металлов и сплавов нами предлагается продольно-клиновый стан (ПКС) и отводящий рольганг новой конструкции [161,162,202] (см. главу 2).

В работе исследовалось влияние охлаждение водо-воздушной смесью на структуру и свойства прокатанных листов из стали А1имеющий следующий химический состав, %: C– 0,15; Mn – 0,95; Si – 0,29; P – 0,011; S – 0,012; V – 0,11; Ti – 0,012; Cu – 0,20; As – 0,020) [212].Аналогом экспериментальный стали А1является сталь Ст3Гсп стран СНГ (C– 0,14...0,2; Mn – 0,8...1,1; Si – 0,15...0,3; P – до 0,04; S – до 0,05; Ni – до 0,3; Cr – до 0,3; N – до 0,008; Cu – до 0,3; As – до 0,08).

Для установления влияния степени деформации и последующего водо-воздушного охлаждения на структуру стали А1образцы размером

Ø10,0×15,0 мм испытывали сжатием на испытательном комплексе Gleeble-3800 [213].

Установка Gleeble3500 является полностью цифровой замкнутой системой термомеханических испытаний. В ее основе лежит программное обеспечение на базе простой в использовании OCWindowsи блок мощных процессоров, которые обеспечивают интерфейс для создания, проведения и обработки программ физического моделирования и термомеханических испытаний.

Система нагрева установки Gleeble3500 позволяет прямым пропусканием тока нагревать образцы со скоростью до 10000^0C/c и поддерживать постоянную равновесную температуру. Благодаря высокой теплопроводности захватов, которые держат образцы, комплексGleeble3500 может высокой скоростью охлаждать образцы. Дополнительная система охлаждения позволяет достигать скорости охлаждения свыше 10000^0C/c на поверхности образца. Термопары и дополнительный инфракрасный пирометр передают сигналы для точного контроля температуры образцов.

Механическая системаGleeble3500 – это замкнутая, полностью интегрированная сервогидравлическая система, способная развивать усилие до 100 кН, максимальная скорость передвижной траверсы: 1000 мм/с. LVDT-датчики/датчики силы (тензометры) или бесконтактные лазерные экстензометры обеспечивают обратную связь для точной реализации программы механических испытаний. Все испытания может быть осуществлена при пониженном давлении или в защитной атмосфере.

Механическая система позволяет исследователю использовать различные режимы управления в процессе любого испытания. Подобная гибкость позволяет моделировать многие термомеханические процессы. Программа может переключать управляющие переменные на любом этапе испытания.

Сердцем комплексаGleeble3500 является цифровая система управления 3-ей серии. Она посылает сигналы для управления показателями термических и механических испытаний одновременно посредством цифровых термомеханических систем закрытого типа. СистемаGleeble3500 может полностью работать как в автономном, так и в ручном режимах, либо комбинированно, если это необходимо, для достижения максимальной гибкости при испытании материалов.

Система компьютерного управления включает в себя настольный компьютер с OCWindows и мощный промышленный компьютер, встроенный в консоль управления. Настольный компьютер с OCWindows имеет гибкий многозадачный Графический Интерфейс промышленного стандарта для разработки программ моделирования и анализа полученных данных.

Пластическую деформацию образцов из стали А1 выполняли на модуле «растяжение – сжатие». Нагрев образцов проводили со скоростью 100 °С/с до температур 1100°С и выдерживали при этих температурах 1 час. Далее, каждый нагретый образец охлаждали до температур 800, 900 и 1000 °С, деформировали циклическим сжатием при скоростях прокатки продольно-клинового стана (таблица 4.1). При составлении плана эксперимента время междеформационной паузы определяли на основе закона постоянство секундных объемов при прокатке в пятиклетьевом продольно-клиновом стане. В промежутках циклического деформирования после выключение электропривода установки образец оставался зажатым бойками и активное нагружение сменялось стадией релаксации. В последующем образцы охлаждали воздухом, водо-воздушной смесью и естественным способом до комнатной температуры.

Шлифы для металлографического исследования готовили по традиционной методике на шлифовальных и полировочных кругах. Для травления образцов был использован раствор азотной кислоты в этиловом спирте.

Таблица 4.1 – План эксперимента физического моделирования

№ вар.	ε_1, %	t_1, с	ε_2, %	t_2, с	ε_3, %	t_3, с	ε_4, %	t_4, с	ε_5, %	$\tau_в$, с	$\tau_{в.о}$,с
Температура испытания – 800 ^{0}С											
1	25	4	22	3	18	2,2	18	1,6	12	2	10
2	25	4	28	2,6	17	2,1	15	1,8	15	8	4
3	35	3	22	3	18	2,2	11	1,9	9	6	6
Температура испытания – 900 ^{0}С											
1	25	4	22	3	18	2,2	18	1,6	12	2	10
2	25	4	28	2,6	20	2,1	15	1,8	15	8	4
3	35	3	22	3	18	2,2	11	1,9	9	6	6
Температура испытания – 1000 ^{0}С											
1	25	4	22	3	18	2,2	18	1,6	12	2	10
2	25	4	28	2,6	20	2,1	15	1,8	15	8	4
3	35	3	22	3	18	2,2	11	1,9	9	6	6

Примечание: ε_1 - единичное обжатие в первой клети; t_1 - междеформационая пауза после первой клети; ε_2 - единичное обжатие во
второй клети; t_2 - междеформационная пауза после второй клети; ε_3 - единичное обжатие в третьей клети; t_3 - междеформационная пауза после третьей клети; ε_4 - единичное обжатие в четвертой клети; t_4 - междеформационная пауза после четвертой клети; ε_5 - единичное обжатие в пятой клети;$\tau_в$ - время охлаждение на воздухе; $\tau_{в.о}$ - время охлаждение водо-воздушной смесью.

Металлографический анализ провели используя универсальный микроскоп NEOPHOT 32 (KarlZeiss, Jena) (Германия). Микроскоп Neophot 32 предназначается для металлографической микроскопии и создания фотоснимков. Наблюдение может производиться методом светлого и темного поля, в поляризованном свете, с изменением кратностей увеличения. Увеличение микроскопа, крат: от 10 до 2000. Микроскоп оснащен цифровым зеркальным фотоаппаратом Olimpusc выводом полученного изображения и сохранения снимков на компьютер.

С использованием выше изложенной методики провели исследование влияние температуры, обжатия, скорости деформирования и междеформационной паузы на сопротивление деформации стали А1. Известно [197], что скоростной эффект при высокой температуре определяется скоростью протекания таких процессов как упрочнение и разупрочнения. Возрастанию скорости деформирования соответствует более упрочненное состояние, так как уменьшается вероятность частичного разупрочнения металла при пластической деформации.

Имеющиеся в различных монографиях данные о скоростной зависимости сопротивления деформации сталей во многих случаях противоречивы [197] и не всегда позволяет определенно судить о влияние этого фактора на сопротивление деформации. В большинстве исследований отмечается возрастание величин сопротивления деформации с увеличением скорости деформирования.

Необходимо отметить, что нами проведенных экспериментах, с увеличением скорости деформирования в циклических обжатиях величина сопротивление деформации по величине уменьшается.

На рисунках 4.1, 4.2 и 4.3 показаны законы изменения сопротивления деформации σ в зависимости от циклического деформирования с различными обжатиями ε и скоростями деформирования.

Из анализа и сопоставление кривых упрочнение стали А1 следует, что сопротивление деформации данной стали при температурах 800, 900 и 1000 °С в начальном цикле деформирования увеличивается, а в последних циклах – уменьшаются. По нашему мнению здесь существенное влияние на кривые сопротивления деформации оказывает динамическое и статическое разупрочнение и тепловой эффект деформации.

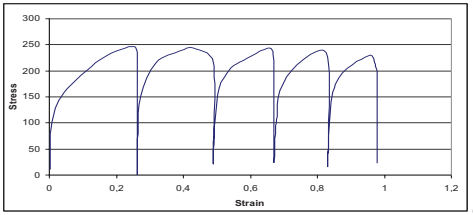
Таким образом, с увеличением обжатия и тем самым скорости деформирования характер кривых упрочнения меняется. При малых скоростях деформирования идет монотонное упрочнение металла, т.е. увеличивается сопротивление деформации в конце процесса обжатия образца. При переходе от одного цикла осадки к другому циклу осадки максимальные значения сопротивления деформации уменьшаются.Наличие такой особенности реологического поведения исследуемой стали можно объяснить протеканием динамической и статической рекристаллизации во время осадки и в междеформационных паузах.

Если сопоставить максимальные значения сопротивления деформации образцов, осаженных при различных температурах, то можно увидить, что на величину сопротивления деформации существенно влияет температура. При повышение температуры уменьшается величина сопротивлении деформации. При этом, увеличивается разность сопротивлений деформации в первом и пятом циклах деформирования, т.е. увеличивается величина $\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_5$, уменьшается остаточное упрочнение, так как

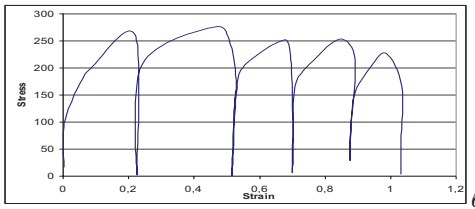
процессы возврата и рекристаллизации успевают пройти более полно. Все это свидетельствует о прохождения динамической и статической рекристаллизации при повышенных температурах.

На рисунках 4.4, 4.5 и 4.6 показана микроструктура образцов из стали А1, полученных при температурно-деформационных режимах прокатки тонких листов на продольно-клиновом стане.

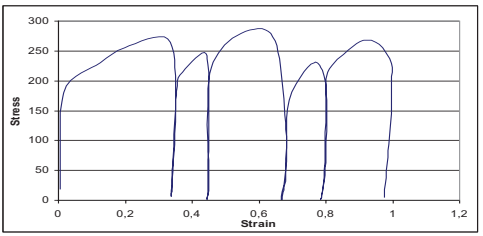
Исследование исходной структуры стали А1 показала, что в структуре образца находятся сравнительно крупные зерна со средним размером 185 мкм. Зерна распределены достаточно равномерно, при этом они вытянутые вдоль оси симметрии образца.



а)



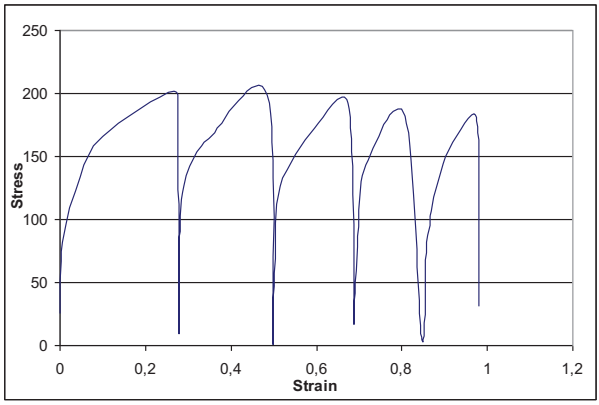
б)



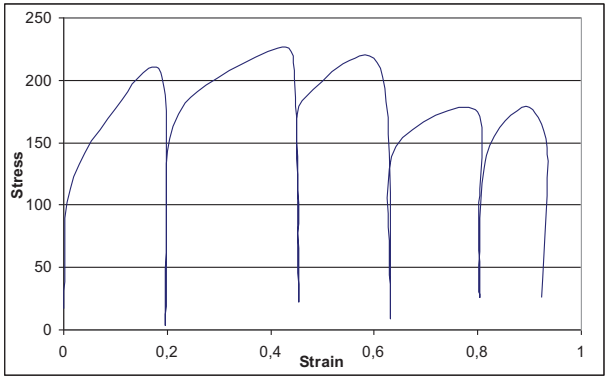
в)

а – прокатка на ПКС по варианту 1; *б* – прокатка на ПКС по варианту 2; *в* – прокатка на ПКС по варианту 3

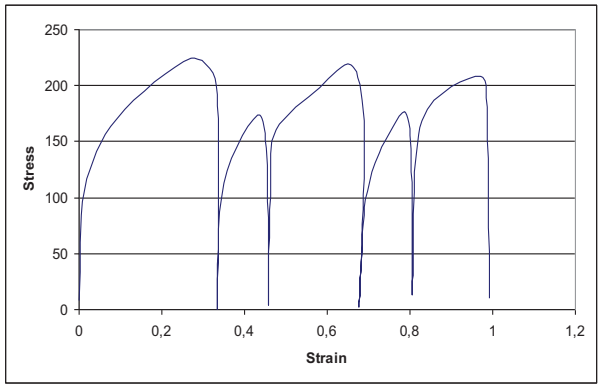
Рисунок 4.1 – Изменение сопротивления деформации при температуре 800°С



а)



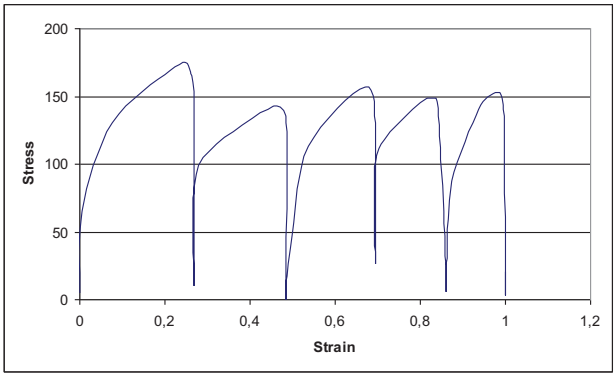
б)



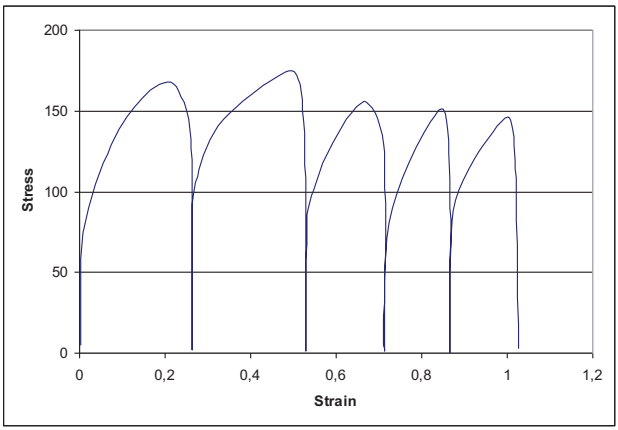
в)

а – прокатка на ПКС по варианту 1; *б* – прокатка на ПКС по варианту 2; *в* – прокатка на ПКС по варианту 3

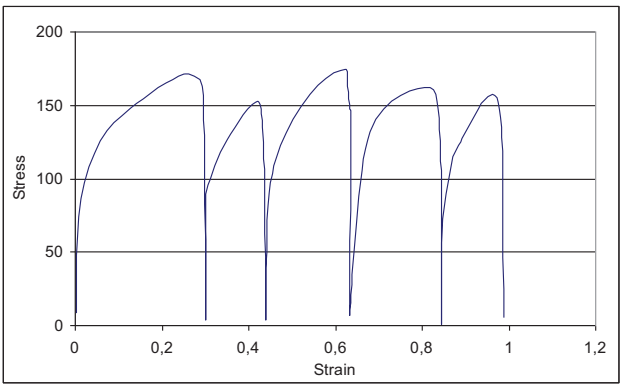
Рисунок 4.2 – Изменение сопротивления деформации при температуре 900°С



а)



б)

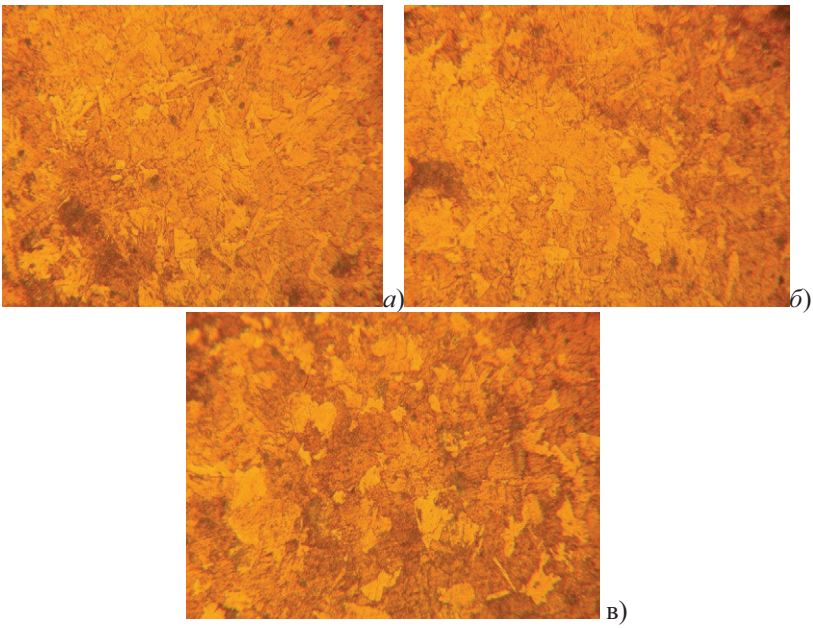


в)

а – прокатка на ПКС по варианту 1; *б* – прокатка на ПКС по варианту 2;

в – прокатка на ПКС по варианту 3
Рисунок 4.3 – Изменение сопротивления деформации при температуре 1000°С

Исследования структуры образцов, обработанных по вышеприведенным режимам показали, что наиболее равномерная и мелкозернистая структура перлита формируются при температуре осадки 900 °С и режиме деформирования и охлаждения по варианту 1 (деформация заканчивается в однофазной области) (рисунок 4.5,*а*). Формирование равномерных и мелкозернистых зерен перлита связано с деформацией стали в однофазной аустенитной области и снижением температуры образца до 600–650 °С при раннем режиме охлаждения полосы. Такой режим деформирования и охлаждения способствует интенсивному выделению цементита.

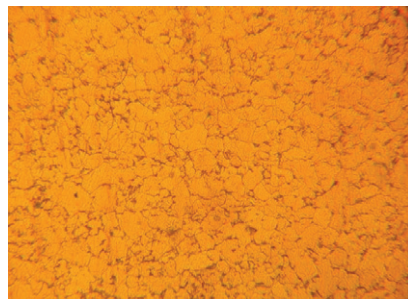

а) *б*) в)

а – прокатка на ПКС по варианту 1; *б* – прокатка на ПКС по варианту 2; *в* – прокатка на ПКС по варианту 3
Рисунок 4.4 – Микроструктура стали А1 осаженных при температуре 800 °С, ×500

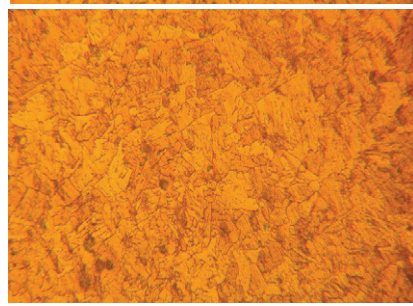
Анализ микроструктуры стали А1 деформированных при температуре 900 °С позволило сделать вывод, что образцы, прокатанные и охлажденные по варианту 1, имеют структуру феррит + перлит с размером феррита 16 –

21 мкм. Ускоренное охлаждение образца в температурном интервале интенсивного выделения цементита способствует образованию очень мелких выделений цементита (балл 1 – 2) (рисунки 4.5,*а*).

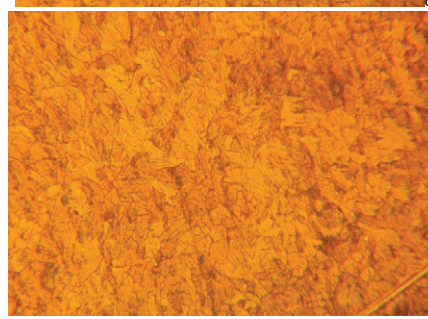
Деформирование при температуре 900 °С и охлаждение образцов по вариантам 2 и 3 приводит к формированию структуры пластинчатого перлита с межпластинчатым расстоянием n = 0,62 – 0,71 мкм и размерами колонии 42 – 57 мкм. Структура состоит из среднего феррита, размерами 32 – 66 мкм, и избыточного цементита 2 – 3 балла (рисунки 4.5,*б* и 4.5,*в*).



а)



б)



в)

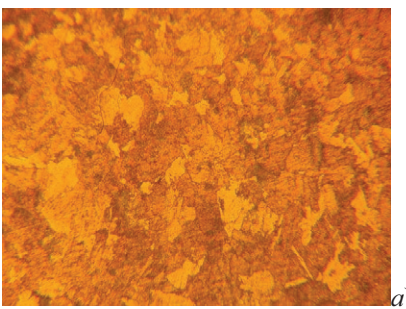
а – прокатка на ПКС по варианту 1; *б* – прокатка на ПКС по варианту 2; *в* – прокатка на ПКС по варианту 3

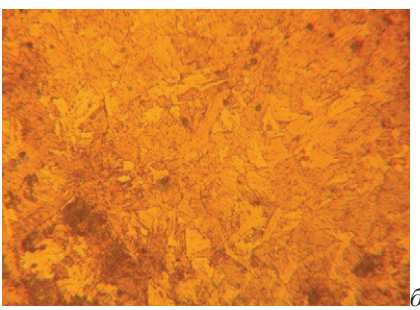
Рисунок 4.5 – Микроструктура стали А1 осаженных при температуре 900 °С, ×500

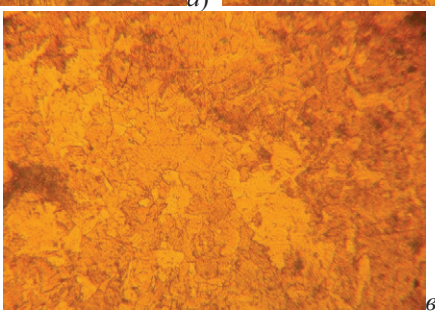
Формирование такой сравнительно среднезернистой структуры при осадке и охлаждение образцов по вариантам 2 и 3 можно пояснить прохождением первичной рекристаллизации в аустенитной матрице и наследованием среднезернистой структуры феррит + перлит металлом при медленном охлаждении. Однако величина цементитных выделений соответствует баллам 2 – 3, что является нерациональным.

Повышение температуры осадки до 1000 ^{o}C приводит к общему укрупнению зерна (рисунок 4.6). Так, образцы, осаженные и охлажденные по варианту 1, 2 и 3, имеют структуру крупного феррита с размерами 84 – 97 мкм, толстопластинчатого перлита, состоящего из чередующихся пластин феррита и цементита, со средним межпластинчатым расстоянием n = 0,82 – 0,91 мкм. Размер колоний грубопластинчатого перлита достигает 66 – 83 мкм, при этом размеры избыточного цементита соответствуют 3 – 4 баллу.

Образование такой крупнозернистой структуры при осадке и охлаждении по варианту 1,2 и 3 можно объяснить созданием условий для прохождения полной первичной рекристаллизации в деформированной аустенитной матрице при высокотемпературной осадке, а также увеличением размеров аустенитных зерен при высокой температуре. Известно, что чем больше размер исходного аустенитного зерна, тем крупнее наследуемая структура феррит + перлит.


а)


б)


в)

а – прокатка на ПКС по варианту 1; *б* – прокатка на ПКС по варианту 2;
в – прокатка на ПКС по варианту 3

Рисунок 4.6 – Микроструктура стали А1 осаженных при температуре 1000 °С, ×500

Размеры зерен деформированных по вариантам 1 при температуре 800 °С выросли (рисунок 4.4) по сравнению с размерами зерен деформированных при температуре 900 °С. По нашему мнению все это связано с тем, что снижение температуры осадки в последних этапах дробного деформирования до температуры 800 °С, а также последующее медленное охлаждение вода-воздушной смесью приводит к формированию грубопластинчатого перлита с межпластичатым расстоянием n = 0,72 – 0,89 мкм и размерами колонии 53 – 112 мкм, а также поласчатого феррита размером 48 – 97 мкм и избыточный цементит баллом 2 – 3 (рисунки 4.4,*б* и 4.4,*в*).

В микроструктуре образцов деформированных при температуре 800 °С и охлажденных по варианту 1 (таблица 4.1) произошли значительные изменения (рисунок 4.4,*а*). Так, осадка по варианту 1 и последующее быстрое охлаждение вода-воздушной смесью приводит к образованию пластинчатого сорбида с межпластинчатым расстоянием n = 0,12 – 0,32 мкм и различными размерами колонии 32 – 83 мкм. Кроме того, происходит уменьшение размеров цементита (балл 1 – 2) и формируется феррит неправильной формы с плохо очерченными границами, а также с различными размерами (28 – 94 мкм).

Наличие таких крупных зерен при осадке и охлаждение по вариантам 1 можно объяснить градиентом наклепа аустенитных и ферритных зерен по всему сечению полосы при пониженной температуре деформации. При медленном охлаждении рекристаллизация в условиях такой градации наклепа вызывает усиленный рост зерен по сечению образца.

Необходимо отметить, что причиной образования разнозернистой структуры по сечению образца при температуре 800 °С может явиться также неравномерность деформации. Так как при пониженных температурах прокатки аустенитные и ферритные зерна могут подвергаться деформации в меньшей или большей степени.

Таким образом, из анализа микроструктуры стали А1 можно сделать вывод, что равномерную мелкозернистую по толщине образцов структура получается при деформирования и охлаждения вода-воздушной смесью по варианту 1 (рисунок 4.5,*а*).

По результатам исследования структуры установлено, что при позднем режимах охлаждения внутренняя структура стали А1 формируется по одинаковым закономерностям.

По полученным данным установлено, что для обеспечения рациональной структуры подката из стали А1 необходимо производить

прокатку полос с температурой конца прокатки 900 °С, температурой охлаждение 600–650°С, при этом горячекатаные полосы на отводящем рольганге необходимо охлаждать вода-воздушной смесью по раннему режиму охлаждения.

4.2Разработка технологий охлаждение полос из стали 60С2ХА на отводящем рольганге новой конструкции с использованием метода физического моделирования

Целью данного раздела диссертационной работы является изучение влияния режима аустенитизации, горячей деформации и последующего водо-воздушного охлаждения со скоростями нового отводящего рольганга на структуру и свойства листов из углеродистой стали.

В работе исследовалось влияние охлаждение водо-воздушной смесью на структуру и свойства прокатанных листов из стали 60С2ХАимеющий следующий химический состав, %: C 0,64; Si 1,6; Mn 0,6; Ni 0,23; S 0,21; P 0,025; Cu 0,2; Cr 0,8.

Для исследования аустенитизации брали образцы длиной 25 ± 2 мм и подвергали нагреву до температур 800 – 1050°С с шагом 50°С и выдержкой 1 мин/мм сечения с последующей градиентной закалкой (методика нормирована ГОСТ 5639). Для проведения опытов использовали лабораторную печь СНОЛ-1,6.2,5.1/11. Для выявление размеров аустенитного зерна применили специальный реактив, состоящий 1 – 4 г пикриновой кислоты, 3 – 5 мл соляной кислоты, 95 – 100 мл этилового спирта. Размер зерна аустенита подсчитывали с помощью окуляра с линейкой на микроскопе МИМ-7 при увеличении 100.

Для установления влияния степени деформации и последующего водо-воздушного охлаждения со скоростями нового отводящего рольганга на структуру стали 60С2ХАобразцы размером Ø10,0×15,0 мм испытывали сжатием на испытательном комплексе Gleeble-3800.

Пластическую деформацию образцов из стали 60С2ХА выполняли на модуле «растяжение — сжатие». Нагрев образцов проводили со скоростью 100 °С/с до температур 850, 1050°С и выдерживали при этих температурах 1 час. Далее каждый нагретый образец после охлаждение или нагрева до температур 700, 800, 900 и 1000 °С деформировали сжатием и охлаждали в течение 3 и 6 с обдувом воздуха и обтеканием водой. В последующем полученные образцы охлаждали естественным способом до комнатной температуры.

Шлифы для металлографического исследования готовили по традиционной методике на шлифовальных и полировочных кругах. Для травления образцов был использован раствор азотной кислоты в этиловом спирте.

После физического моделирования охлаждения на отводящем рольганге новой конструкции на обработанных образцах был выполнен количественный анализ конечных микроструктур при помощи универсального микроскопа NEOPHOT 32 (KarlZeiss, Jena) (Германия).

На деформированных и вода-воздушной смесью охлажденных образцах измеряли микротвердость на приборе ПМТ-3 с нагрузкой 1 Н.

Зависимость размера зерна от температуры аустенитизации представлена на рисунке 4.7. С увеличением температуры аустенитизации увеличивается средний размер зерна аустенита. До температуры 850°С размер зерна аустенита практически мало увеличивается и равняется 12,95 мкм.

На рисунке 4.8 приведена законы изменения сопротивления деформации σ в зависимости от единичного обжатия ε. Из анализа и сопоставление кривых упрочнение стали 60С2ХА, приведенных на этом рисунке следует, что сопротивление деформации стали 60С2ХАпри температурах 700, 800, 900 и 1000 °С для всех исследованных значений степени деформации увеличивается в начальный момент деформации а далее деформируется при постоянном напряжении. Связано это с тем, что во время горячей пластической деформации в металле образца параллельно происходит два процесса – упрочнение и разупрочнение, проходящее за счет процессов динамической полигонизации и рекристаллизации. Соотношение между ними, как и характер формирующейся структуры, зависят от таких параметров, как температура, степень и скорость деформации. По нашему мнению существенное влияние на полученные кривые сопротивления деформации оказывает вышеотмеченные динамические разупрочняющие процессы и тепловой эффект деформации.

Результаты исследования показали, что деформирования при температуре 1000 °С и охлаждения вода-воздушного смесью в течение 3 и 6 с способствует формированию в мелькозернистой аустенитной структуре полностью рекристаллизованой ферритно-сорбитной структуры (рисунок 4.9,*а* и 4.9,*б*). Деформация при температуре 900 °С и охлаждение в течении 3 и 6 с приводит к уменьшению степени рекристаллизации соотвественно до 15% и 30 % (рисунок 4.9,*в* и 4.9,*г*). При этом в заготовке формируется разнозернистая структура, что связано с появлением в мелькозернистом структуре крупных нерекристаллизованных зерен. В случае проведения осадки при температурах 700 и 800 °С и охлаждения в течении 3 и 6 с структура металла получается не рекристаллизованным (рисунок 4.10,*а*,*б*,*в*,*г*). Структура металла состоит из деформированных вытянутых в радиальном направлении заготовки ферритно-сорбитных колоний.

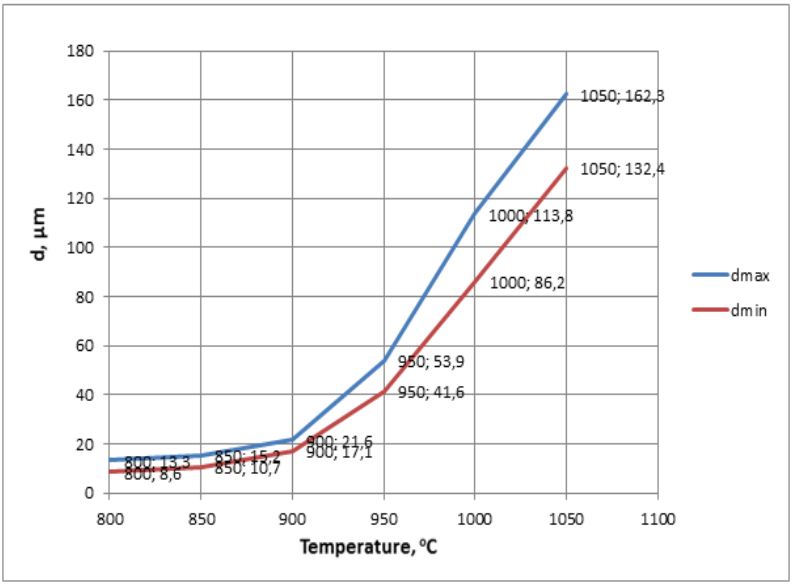
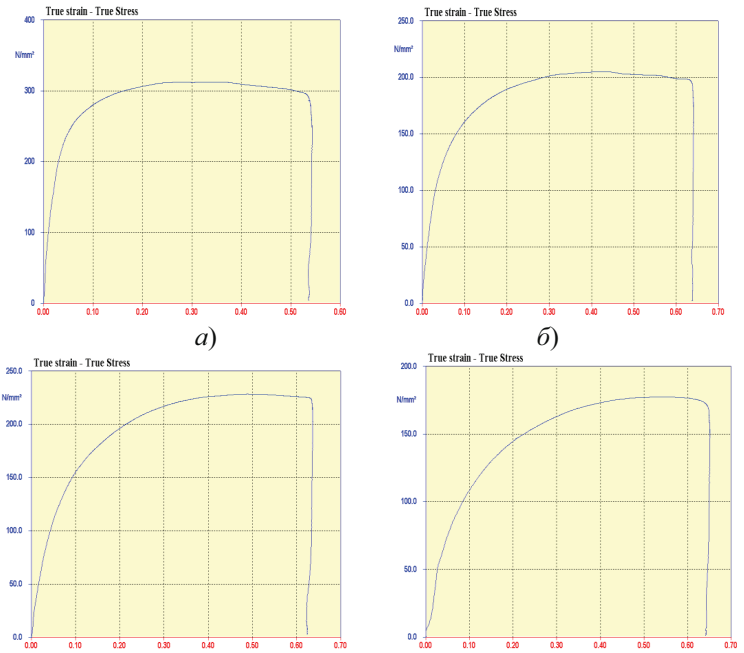


Рисунок 4.7 – Зависимость размера зерна d (мкм) от температуры аустенитизации (^{o}C) при удельной выдержке 1 мин/мм сечения

Проведенным исследованием установлено, что горячая деформация при разных температурах при последующем охлаждении приводит к изменению дисперсности перлита. Увеличение степени деформации в пределах 60 – 65 % приводит к уменьшению значений межпластиночного расстояния в результате формирования более мелкого аустенитного зерна и ферритно-сорбитной колонии. Так измерение межпластиночного расстояния показывает, что нагрев образцов до температуры 700 ^{o}C, деформирование со степенью горячей деформации 55 – 65 % и охлаждение в течение 3 и 6 с приводит к формированию в мелкозернистой аустенитной структуре тонкопластинчатого перлита с межпластиночным расстоянием порядка 1,32 – 1,36 и 1,12 – 1,23 мкм, соответственно (рисунок 4.11). При этом, деформирование образцов со степенью горячей деформации 55 – 65 % при температуре 800^{o}C, и последующее охлаждение 3 и 6 с приводит к формированию в мелкозернистой аустенитной структуре тонкопластинчатого перлита с межпластиночным расстоянием порядка 0,92 – 0,96 и 0,74 – 0,82 мкм, соответственно (рисунок 4.11).

Аустенитизация при температуре 850 ^{o}C, нагрев до температуры 900 и 1000 ^{o}C с последующей деформацией со степенью 65 % и охлаждение водо-воздушной смесью 3 с приводит к получению в структуре высокоуглеродистой стали сорбита с межпластиночным расстоянием порядка 0,45 – 0,51 и 0,37 – 0,41 мкм, соответственно.По мере увеличения

времени выдержки до 6 с межпластиночное расстояние уменьшается до 0,22 – 0,28 при температуре 900°С и до 0,14 – 0,18 мкм при температуре 1000 °С (рисунок 4.11).

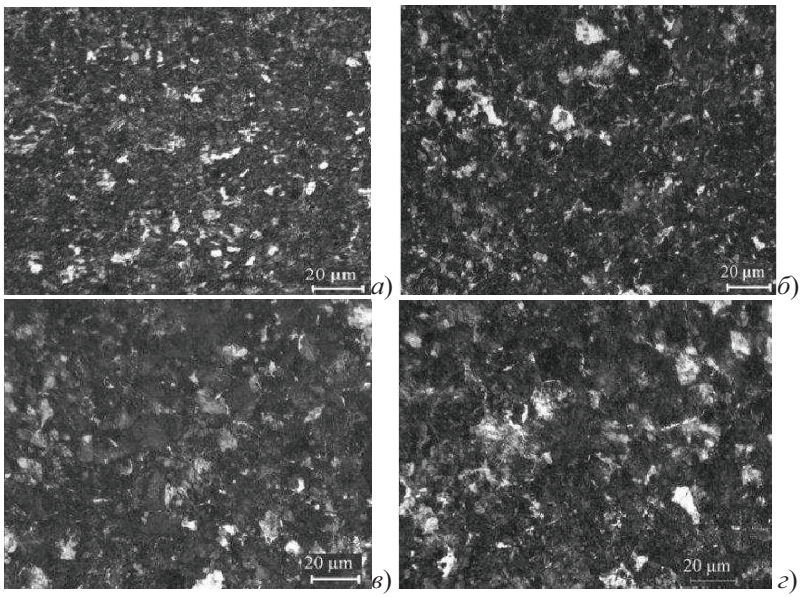


а) *б*)

в) *г*)

Рисунок 4.8 – Изменение сопротивления деформации стали 60С2ХА при температуре осадки 700 °С (*а*), 800 °С (*б*), 900 °С (*в*) и 1000 °С (*г*)

Можно отметить, что малый средний размер зерна исходного аустенита обеспечивает образование мелкозернистой ферритно-сорбитной структуры после протекания процесса ферритного превращения и приводит к уменьшению размеров сорбитных колоний, образующихся в результате перлитной реакции. При содержании в стали 0,64 углерода феррит большинстве случаев выделяется не в виде отдальных зерен, а отрочкой вокруг зерен сорбида и наблюдается на шлифе, как ферритная сетка.



а) *б*) *в*) *г*)

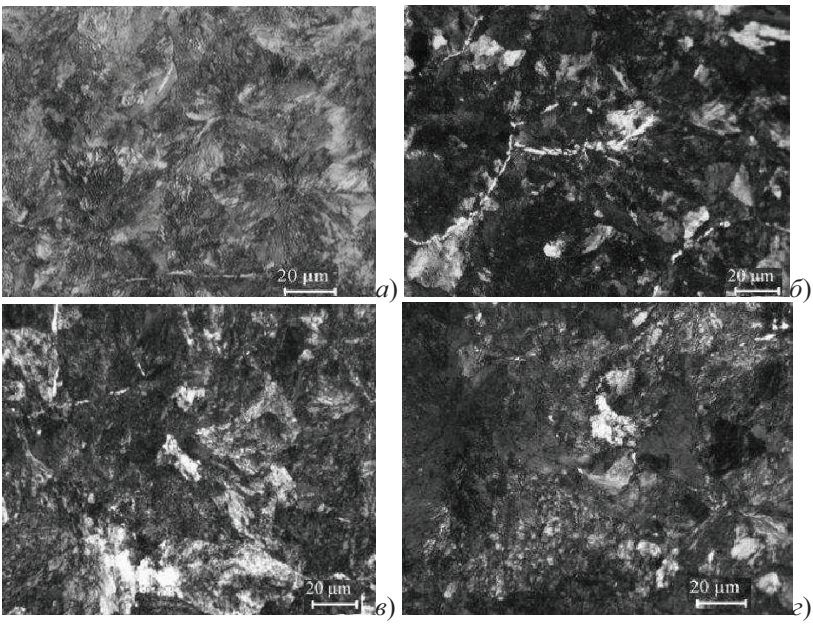
а – осадка при температуре 900°С и охлаждение 3 с; *б* - осадка при температуре 900°С и охлаждение 6 с; *в* – осадка при температуре 1000°С и охлаждение 3 с; г - осадка при температуре 1000°С и охлаждение 6 с

Рисунок 4.9 – Микроструктура стали 60С2ХА после аустенитизации при температуре 850°С с выдержкой 1 ч и последующей горячей деформации при температурах 900 и 1000 °С и охлаждения в течении 3 и 6 с

Измерение межпластиночного расстояния ферритно-сорбитной колонии показало, что нагрев для аустенитизации на 1050°С, последующее осадка со степенью 55 – 65 % при температурах 700, 800 °С и охлаждение вода-воздушной смесью с временем 3 с приводит к формированию микроструктуры с межпластиночным расстоянием, соответственно, 1,83 – 1,89 мкм и 1,56 – 1,64 мкм (рисунок 4.11,*б*), то есть структуры грубопластинчатого перлита. По мере увеличения времени выдержки до 6 с межпластиночное расстояние уменьшается до 1,36 – 1,44 мкм и 1,24 – 0,31 мкм, соответственно (рисунок 4.11,*б*), а размеры и количество перлитных колоний увеличиваются. Аустенитизация при температуре 1050 °С, нагрев до температуры 900 и 1000 °С с последующей деформацией со степенью 55 – 65 % и охлаждение водо-воздушной смесью 3 с приводит к получению в структуре высокоуглеродистой стали сорбита с межпластиночным расстоянием порядка 0,67 – 0,72 мкм и 0,57 – 0,62 мкм, соответственно. По мере увеличения времени выдержки до 6 с межпластиночное расстояние уменьшается до 0,57 – 0,61 мкм при

температуре 900 °С и до 0,31 – 0,37 мкм при температуре 1000 °С (рисунок 4.11,*б*).

Исследование твердости показало, что горячая деформация при разных температурах при последующем охлаждении вода-воздушной смесью приводит к изменению микротвердости перлита. Увеличение степени деформации в пределах 60 – 65 % приводит к увеличению значений микротвердости в результате вытягивание колоний ферритно-сорбитных колоний или формирования более мелкого зерна.



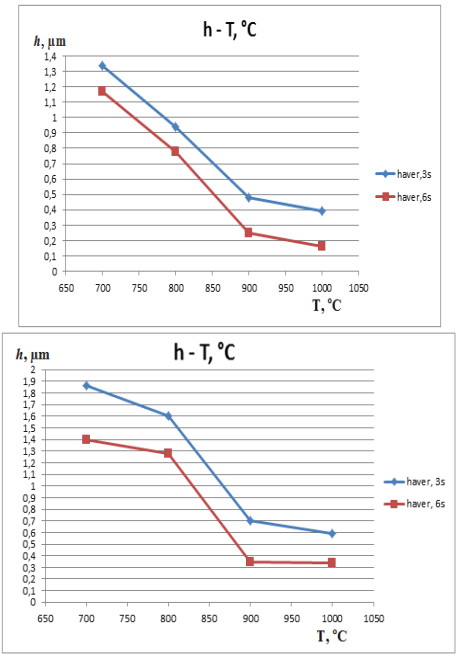
а) *б*) *в*) *г*)

а – осадка при температуре 700°С и охлаждение 3 с; *б* - осадка при температуре 700°С и охлаждение 6 с; *в* – осадка при температуре 800°С и охлаждение 3 с; *г* - осадка при температуре 800°С и охлаждение 6 с

Рисунок 4.10 – Микроструктура стали 60С2ХА после аустенитизации при 850°С с выдержкой 1 ч и последующей горячей деформации при температурах 700 и 800 °С и охлаждения в течении 3 и 6 с

Средняя микротвердость мелкозернистых образцов осаженных при температуре 700 и 800 °С и охлажденных вода-воздушной смесью 3 с составляет, соответственно, 3658 МПа (3364 МПа – в центре и 3823МПа – у поверхности) и 3593 МПа (3294 МПа – в центре и 3976 МПа – у поверхности), а охлажденных 6 с равняется 3805 МПа (3618 МПа – в центре и 3992 МПа – у поверхности) и 3735 МПа (3417 МПа – в центре и 3942 МПа – у поверхности), соотвественно.При этом микротвердость

образцов осаженных при 900 и 1000 °С и охлажденных вода-воздушной смесью 3 с равняется, соотвественно, 3319 МПа (3246 МПа – в центре и 3393 МПа – у поверхности) и 3078 МПа (2932 МПа – в центре и 3224 МПа – у поверхности), а охлажденных 6 с составляет, соотвественно, 3416 МПа (3141 МПа – в центре и 3691 МПа – у поверхности) и 3287 МПа (2958 МПа – в центре и 3617 МПа – у поверхности).



а) *б*)

Рисунок 4.11 – Изменение межпластиночного расстояния ферритно-сорбитной колонии при нагреве для аустенитизации 850 °С (*а*) и 1050°С (*б*) и осадке со степенью 55 – 65 % и охлажденного вода-воздушной смесью

Полученные значения микротвердости подтверждают тот факт, что с уменьшением температуры осадки и увеличением времени вода-воздушного охлаждения микротвердость увеличивается. Полученные данные свидетельствуют и о том, что твердость образцов в продольном и поперечном направлениях отличается мало, то есть, нет большого разброса свойств при охлаждении вода-воздушной смесью.

Выводы

1. Для обеспечения рациональной структуры подката из стали А1 необходимо производить прокатку полос с температурой конца прокатки

900 °С, температурой охлаждение 600–650°С, при этом горячекатаные полосы на отводящем рольганге необходимо охлаждать вода-воздушной смесью по раннему режиму охлаждения;

2. Нагрев до температур 700 – 800°С и деформирование со степенью 65 – 70% при охлаждения вода-воздушной смесью 3 и 6 с не всегда обеспечивают формирование мелкозернистой ферритно-сорбитной структуры в высокоуглеродистых образцах;

3.Нагрев до 1000°С, деформирование со степенью 65 – 70% при охлаждении вода-воздушной смесью в течение 3 и 6 с приводит к формированию мелкозернистой ферритно-сорбитной структуры в образцах изученных диаметров и химического состава;

4.По мере уменьшения времени охлаждения и увеличения температуры испытания микротвердость образцов уменьшается, при этом повышается количество структурно свободного феррита.

5. Нагрев образцов до температур 900 и 1000 °С, деформирование со степенью 65 – 70% и охлаждения вода-воздушной смесью 3 и 6 с приводит к формированию структуры сорбита в образцах из высокоуглеродистой стали с межпластиночным расстоянием 0,23 – 0,62 мкм. По мере увеличения времени охлаждения межпластиночное расстояние уменьшается, а размеры перлитных колоний увеличиваются.

6. При высоких температурах деформации наряду с динамическим возвратом имеет место динамическая рекристаллизация. Возникшие при динамической рекристаллизации зерна в процессе своего роста подвергаются деформации, и в них формируется субструктура. Плотность дислокаций увеличивается до критической величины, после чего следует новый цикл рекристаллизации. При динамической рекристаллизации величина зерна аустенита уменьшается.

7. Многократная рекристаллизация приводит к эффективному измельчению зерна аустенита. Малый средний размер зерна аустенита обеспечивает образование мелкозернистой ферритно-сорбитной структуры после протекания процесса ферритного превращения и приводит к уменьшению размеров перлитных колоний, образующихся в результате перлитной реакции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Показано, что в существующем отводящем рольганге используются индивидуальные приводы для роликов, при этом для принудительного охлаждения поверхности полосы применяется установка ламинарного типа, т.е. для транспортировки и охлаждения используется сложное по конструкции оборудование.

2 Показано, что ролики отводящего рольганга, является одним из массивных элементов, подвергается интенсивному износу и частым поломкам, что приводит к значительным отказам рольганга.

3 Предложена новая конструкция непрерывного продольно-клинового стана горячей прокатки и отводящего рольганга и определены рациональные конструктивные параметры отводящего рольганга.

4 Доказано, что предлагаемая конструкция отводящего рольганга способствует уменьшению износа роликов при транспортировке горячекатаных полос.

5 Установлены закономерности влияния режимов охлаждения на изменение структуры и свойств горячекатаных сталей при транспортировке их на новом отводящем рольганге.

6 Установлено, прокатке полос на новом стане с температурой конца прокатки 900 ^{o}C и охлаждение на отводящем рольганге вода-воздушной смесью с температурой конца охлаждение 600–650°C по раннему режиму обеспечивает рациональную структуры подката из стали А1;

7 Установлено, что нагрев до 1000°C, деформирование со степенью 65 – 70% при охлаждении вода-воздушной смесью в течение 3 и 6 с приводит к формированию мелкозернистой ферритно-сорбитной структуры в образцах из стали 60С2ХА.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Машины и агрегаты металлургических заводов В 3-х томах, т.3 Машины и агрегаты для производства и отделки проката. Учебник для ВУЗов А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребенник н др. -М: Металлургия, 1988, 487 с.

2. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. – М.: Металлургия. 1985, 539 с.

3. Королев А.А. Механическое оборудование прокатных цехов. -М.: Металлургия, 1987, 481 с.

4. Механическое оборудование цехов по обработке металлов давлением. А.А. Королев, А.Г. Навроцкий, В.А Вердеревский и др. - М.: Металлургия, ч.3, 1989. 624 с.

5. Давильбеков Н.Х. Металлургические машины и оборудование. Раздел: Механическое оборудование прокатных цехов: Учеб. пособ. – Алматы: КазНТУ, 2003, 374 с.

6. Давильбеков Н.Х. Повышение срока службы роликов отводящего рольганга листопрокатных станов. – Алматы: Каз ПТИ, 1976, 117 с.

7. Давильбеков Н.Х., Курапов Г.Г., Ескулов С.С. Исследование работы отводящего рольганга стана 1700 Карметкомбината. // Сб.металлургические машины и оборудование. - Алматы: КазНТУ- 1994.- С.23 – 28.

8. Состояние отводящего рольганга непрерывного широкополосного стана 1700 горячей прокатки Карметкомбината/ Давильбеков Н.Х., Курапов Г.Г., Клементьев В.А. и др. // Сб. вопросы исследования и эксплуатации металлургического оборудования. - Алматы, 1990. С.33 – 37.

9. Ескулов С.С. Разработка и внедрение методов повышения эффективности работы отводящих рольгангов непрерывных широкополосных станов. Дисс. канд. техн. наук. – Алматы: КазНТУ, 1995. 126 с.

10. Металдар мен қорытпаларды ыстықтай жаймалап жолақ жасайтын өндірісті дамыту жолдары /А.Б. Алимбетов, А.А.Тукибай,Г.А.,Смаилова және А.М.Алшынова//Труды Международных Сатпаевских чтений «Роль и место молодых ученых в реализации новой

экономической политики Казахстана» Алматы :КазНТУ им. К.И. Сатпаева,2015. С.312-321.

11. Полухин П.И., Федосов Н.М., Королев А.А., Матвеев Ю.М. Прокатное производство. Учебник для вузов – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1982. – 696 с.

12. Технология прокатного производства / С.А. Машеков, И.И. Кузьминов, Л.А. Курмангалиева и др. // - Алматы: Tetaprint, 2007. 334 с.

13. Рудской А.И., Лунев В.А. Теория и технология прокатного производства: Учебное пособие. – СПб.: Наука, 2005. – 540 с. 377 ил.

14. Дубинина О.В., Остапенко А.Л., Никитина Л.А. и др. Технология и оборудование, проблемы и перспективы бесконечной горячей прокатки на широкополосных станах / // М.: АО «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия», 2002, №5. – С. 10 – 30.

15. Бобих П., Бореи Р., Ротта М. Тенденции развития технологии и оборудования для производства высококачественной полосовой стали: Тр. Четвертого конгресса прокатчиков. Магнитогорск. 16-19 октября 2001 г. М.: АО "Черметинформация". 2002. С. 54-57.

16. Бесконечная прокатка на широкополосном стане горячей прокатки в Тибе // Новости черной металлургии России и зарубежных стран. Ч. II: Новости черной металлургии за рубежом. - 1998. - №3. -С. 61-64.

17. Майер П. Обеспечение высокого качества продукции и экономической эффективности производства на широкополосных станах горячей прокатки // Тр. Второго конгр. Прокатчиков. - М.: АО "Черметинформация", 1998. -С. 55-63.

18. Дегнер М., Хеллер Т., Тезе П. Разработки в области производства сверхтонкой горячекатаной полосы // Черные металлы. – 2001. – Март. – С.24−32.

19. Антипин В.Г. Прогресс в производстве тонких стальных полос // М.: АО «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия», 2002, №8. – С. 3 – 9.

20. Никитина Л.А. Новыеразработки в области применения промежуточных перемоточных устройств // Новости черной металлургии за рубежом.–1995.–№4.– С.102−107.

21. Новейшая технология производства горячекатаной полосы / В. Бальд., Г, Кнеппе, Д. Розенталь и др. // Черные металлы. 2000. №2. С. 32-37.

22. Грайс П., Штайн-Верзен. Новаторские технологии в производстве длинномерной и листовой продукции // Черные металлы. 2001. Сентябрь. С.

23. Романцев Б.А. Микрометаллургический завод: сортамент и оборудование/ Труды научно-практической конференции АО «Кальчугцветмет», Москва, 1997. – С.8-10.

24. Василев Я.Д., Дементиенко А.В. Современный мини-комплекс для производства жести и тонких холоднокатаных полос // М.: АО «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия», 2002, №8. – С. 43 – 48.

25. О причинах образования несимметричной неплоскостности полосы при производстве жести / Дорогобид В.Г., Тимофеева Н.Н., Кушнарев А.В. и Коротаев Б.Г. // Обработка сплошных и слоистых материалов: Межвуз. сб. науч. тр. – Магнитогорск: МГМА, 1998. – С. 76 – 79.

26. Innovative technoloqies for strip production / W. Bald, Q. Kneppe, D.Rosenthal, P. Sudau // Steel Times Int. – 2000. 24. №5. – P.16−19.

27. Barret R. Thiu hot rolled strip chips away at cold rolled markets // Metal Bull. Mon. – 1999. – Apr., Suppl. – P.25,27−29.

28. Conroll – технология производства тонкой горячекатаной полосы // Новости черной металлургии России и зарубежных стран. Ч. II: Новости черной металлургии за рубежом. - 1998. - №2. - С. 50-61.

29. Ниллс Р. Новые тенденции в развитии металлургической технологии // Черная металлургия России и стран СНГ в XXI веке: Сб. трудов Междунар. конф. Т.1. - М.: Металлургия, - 1994. - С. 19-26.

30. Тонкослябовыелетейно-прокатные агрегаты для производства стальных полос / Салганик В.М., Гун И.Г., Карандаев А.С. и Радионов А.А. // Учебное пособие. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2003. – 506 с.: ил.

31. Обеспечение высокого качества продукции и экономической эффективности производства на широкополосных станах горячей прокатки фирмы "Mannesmann Demag" // Новости черной металлургии России и зарубежных стран. Ч. II: Новости черной металлургии за рубежом. - 1998. - №1. - С. 50-55.

32. Бесконечная горячая прокатка полос на заводе в Тибе // Новости черной металлургии за рубежом. - 1997. - №1. - С. 75-76.

33. Egawa N., Ishizika H., Hirita T., Hot Rolling Technology for Producing High QalityStaihless steel at №3 Hot Strip Mill in Chiba Works // MPT International. - 1998. - 30. - №23. - P. 82-87.

34. Nicaido H., Isoyama S., Nomura N. Endlesshot strip rolling in the №3 hot strip mill at the Chiba Works // Kawasaki Steel Techn. Rept. – 1997. – №37. – P.65−72.

35. Bobig P., Borsi R., Rotti M. Innovationin hot rolling equipment modern high performance mills / // Rev. met. (Fr.). – 1999. – 96. – №6. – P.749−756.

36. Endloswalzenvon Warmbandauchbei Sumitomo // Stahl und Eisen. – 1995. – 115. – №12. – P.26.

37. Pietryka J., Capriotti A. A newapproach to the production of flat rolled steel // Rev.met. (Fr.). – 1995. –92. – №7,8. – P.883−892.

38. Verfahranzun Gieben und Walzendunner Brammen und Bander // BanderBleche – Rohre. – 1992. –33. – №12. – P.76.

39. Thinhot strip using a planetary mill // Steel Times Int.–1995.–19. – №5. – P.33−35.

40. CONROLL– Technology for the production of thin hot strip // Steel Times Int. – 1997. – 21. – №3. – P.15, 16, 18.

41. Corus opens Ijmuiden thin slab plant // Steel Times. – 2000. – 228. – №5.–P.186.

42. Manufactureof deepdraminq sheet by warm rollinq / Okamoto Toyohiko, Hayashi Chihiro //Sheet Metal Ind. – 1973. – 50. – №5. – P.297−302.

43. New development in Coilbox applications / T.Korabi, H.B. Johnson / MPT: Met. Plant and Technol. – 1994. – 17. №6. – P.64–66,68,69.

44. Ginzburg V.B.Thinner hot strip by improving control on conventional mills / Steel Times Int. – 1995. – 19. №5. – P.22, 28.

45. Литвин А.В., Мазур В.Л., Пилюшенко В.Л. Разработка литейно-прокатных комплексов для производства листовой стали из тонких слябов и лент за рубежом // Черная металлургия. -1990. - N 4. С. 2-10.

46. Фернандес Алфонго, Кюпер Ф. Й. Первые производственные результаты по установке CSP на HylsaS.A. // MPT International. 1997. P. 38-45.

47. Кюпер Ф. Й., Фернандес Алфонго. Компактное производство полосы CSP– лидирующая технология // НЧМ. 1998. № 3. С. 55-58.

48. Непрерывное литье полосы (инновационная технология для производства листового проката в новом тысячелетии) / H-U. Lindenberg, M. Walter., G. Stebner et al. // Forum Thyssen Krupp. 2000. № 2.

49. Технология разливки тонкого сляба, производство и качество изделий на заводе Арведи / G. Gosio и др. // Материалы Европейской конференции по непрерывной разливке. Дюссельдорф, 20-22 июля 1984. С. 345 – 353.

50. Blejde W., Fukaselt H., Mahapatra R. Последние разработки по проекту "M", совместная разработка технологии непрерывной отливки полосы из низкоуглеродистой стали фирмами BHP и IHI / Доклад на конгрессе METEC. Дюс-сельдорф, Германия. Июнь. 1999.

51. Wechsler R. Состояние технологии двухвалковой непрерывной разливки, сравнение с обычной технологией / Доклад на 35-й конференции IISI. Сеул. Корея. Октябрь. 2001. С. 69 – 75.

52. Ватанабе Т. Современное состояние в области непрерывного литья листовых заготовок с размером, близким к конечному // Тэцу то хаганэ. 2002. Т. 88. № 3.

53. Погоржельский В. И., Ананьевский М. А., Захаров В. А. и др. Влияние технологических режимов прокатки непрерывнолитых слябов на структуру и свойства листов // Сталь. - 1976. - №2.-С. 142-146.

54. Бейсенов Б.С. Разработка высокоэффективных способов транспортировки горячекатаных стальных полос/ Дисс. канд. техн. наук. – Алматы: КазНТУ, 1998. 138 с.

55. Абсадыков Б.Н. Разработка ресурсосберегающих технологических и технических решений для повышения эффективности процессов листовой прокатки / Дисс. докт. техн. наук. – Алматы: КазНТУ, 2010. 289 с.

56. Проблемы транспортировки горячекатаных полос и их решение путем разработки перспективных конструкции отводящих рольгангов /Дыя Хенрык, С.А.Машеков, А.Б. Алимбетов и др. //Труды Международной научно-практической конференции IV том, «Подготовка инженерных кадров в контексте глобальных вызовов XXI века» Алматы: КазНТУ им. К.И. Сатпаева, 12 апрель 2013 С.91-93.

57. Мелешко В.И.Дачайлов А.П.,Мазур В.Л. Прогрессивные методы прокатки и отделки листовой стали.-М.: Металлургия, 1980. – 192 с.

58. Беняковский М.А., Мазур В.Л., Мелешко В.И. Производство автомобильного листа. -М.: Металлургия, 1979. – 256 с.

59. Увеличение стойкости роликов отводящего рольганга листопрокатных станов / Н.Х.Давильбеков, В.А. Клеменьтьев, Г.Г. Курпанов и др. //Сталь. - 2003, № 10.-С. 44-47.

60. Эксплуатационная стойкость роликов чистовых рольгангов широкополосных станов горячего проката /Куликов В.И., Ковалевич Е.В, СульменевВ.С. и др. // Труды ЦНИИТМАШ. - 1980. №160. С.48–56.

61. Ткаченко А.С., Антонов В.М., Кавыгин В.В. Влияние взаимногорасположения роликов отводящего рольганга широкополосногостана горячей прокатки на увод полосы. - Липецк, 1981. - 9 с.Деп. в ВИНИТИ, №861.

62. Ткаченко А.С., Антонов В.М., Кавыгин В.В. К анализу работы отводящего рольганга с перекошенными роликами//Металлургическая и горнорудная промышленность. 1983. № 1.С. 51–53.

63. Заявка Великобритания №1491574. Отводящий рольганг // Бюллетень изобретений. - 1977. №14.

64. Заявка ФРГ №3427707. Ролик с внутренним охлаждением / Е. Планкер// Бюллетень изобретений. - 1987. - №1.

65. Жиркин Ю.В. Надежность, эксплуатация и ремонт металлургических машин: Учебник. - Магнитогорск: МГТУ, 2002. - 330 с.

66. Пишнограев Р.С. Система диагностирования электропривода отводящего рольганга широкополосного стана горячей прокатки // Дис. канд. техн. наук. -Магнитогорск: ГОУВПО «МГТУ», 2006.

67. Лукьянов С.И., Швидченко Н.В. Снижение износа бочек роликов отводящего рольганга стана горячей прокатки средствами электропривода // Электротехнические системы и комплексы: межвуз. сб. науч. тр. - Магнитогорск: МГТУ, 2009. -Вып. 16.-С.178- 184.

68. ЛукьяновС.И., Швидченко Н.В. Технологические требования к электроприводам роликов отводящего рольганга стана горячей прокатки // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика // Двенадцатая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез.докл. в 3-х т. - М.:МЭИ, 2006. Т.2. - С. 151-152.

69. А.С. №1049132 СССР, МКИ4 В21 В39/00. Рольганг прокатного стана / Брехов Е.В. и др. (СССР). - 3451542/22-02: Опубл. 1983, Бюл. №39.

70. Заявка Япония №60-133909. Метод и устройство регулирования скорости роликов рольганга / Исикава Иосидзо // Бюллетень изобретений. - 1986. - №9.

71. Патент ГДР №156220. Ролик рольганга // Бюллетень изобретений. - 1983. № 8.

72. Заявка Япония №54-24593. Устройство для планового регулирования скорости рольганга. /ИманФусоко // Бюллетень изобретений. - 1980. - №2.

73. А.С. №845916. СССР, МКИ3 В21 В39/00. Ролик рольганга / И.И. Кобца (СССР). - 2725746/22-02: Заявлено 05.02.79. Опубл. 1981. Бюл. №26.

74. Заявка Япония №61-262416. Способ управления рольгангом на прокатном стане / Кубота Иосиюки // Бюллетень изобретений. - 1987. - №12.

75. А.С. №871863. СССР, МКИ3 В21 В39/00. Ролик рольганга для транспортировки толстолистового горячего металла /И.И. Кошеленко (СССР).-22899186/22-02: Опубл. 1981. Бюл. №38.

76. А.С. №10186235. СССР, МКИ4 В21 В27/01. Ролик рольгангапрокатного стана / В.И. Набутовский и др. (СССР). - 3383284/22-02: Опубл.1983. Бюл. №19.

77. А.С. №1308415. СССР, МКИ4 В21 В39/00. Способ транспортирования полосы отводящим рольгангом листопрокатного стана/Сосковец О.Н. и др. (СССР). - 3995118/22-02: Опубл. 1987, Бюл. №17.

78. А.С. №1748896. СССР, МКИ5 В21 В39/ОО. Отводящий рольганг листопрокатного стана / Давильбеков Н.Х. и др. (СССР). - 4732967/27: Опубл. 23.07.92, Бюл. №27.

79. Патент РК № 4322. Давильбеков Н.Х. и др. Отводящий рольганг листопрокатного стана 1700. 18.05.94.

80. А.С. №1253921 СССР, МКИ В65 Н21/24. Устройство для транспортирования и укладки листового материала в стопу/Калашников А.А. (СССР). - № 3759628/25-12: Опубл. 1986, Бюл. №32.

81. Заявка Япония №60-174210. Устройство управления скоростьюрольганга прокатного стана. /Мива Нарихара // Бюллетень изобретений. - 1986 .- №12.

82. Заявка Япония №62-197212. Способ и устройство для контролирования скорости роликов рольганга в процессе горячей прокатки // Бюллетень изобретений. 1988. - №8.

83. Заявка ФРГ №2516536. Роликовый конвейер // Бюллетень изобретений. -1987.- №12.

84. А.С. №921654. СССР, МКИ4 В39/00. Устройство для центрировании и транспортировки проката. / Щелкин Ю.К., Путинцев В.И.. (СССР). -2965485/ /22-02: Опубл.1982, Бюл. № 15.

85. Заявка Великобритания №1491574. Отводящий рольганг // Бюллетень изобретений. - 1977. №14.

86. А.С. №1289573. СССР, МКИ4 В21 В39/00. Ролик для транспортировки горячекатаного листового проката /Н.В. Гончаров (СССР), - 3950270/22-02: Опубл. 1987, Бюл. №6.

87. Заявка Япония №57-167063. Ролик для транспортирования горячего проката. /Кураки Хирюхэи, Метода Цугио, Мицуи Тосихиса // Бюллетень изобретений. - 1984. - №4.

88. Заявка Япония №48-10293 Рольганг. /Мазбара Синчитиро и др. // Бюллетень изобретений. - 1974. - №3.

89. А.С. №377282. СССР, МКИ3 В65 В13/00. Букса ролика отводящего ролика широкополосного стана / Бобылев А.С. и др. (СССР) - 16в3952/00-2: Опубл. 1973, Бюл. №16.

90. Заявка ФРГ №270759. Ролик для транспортирования горячего проката // Бюллетень изобретений. 1979. - № 9.

91. Заявка Япония №59-127957. Ролик для транспортирования горячего металла. /Арии Кудзуеси, Хираиси Хисаси // Бюллетень изобретений. - 1995. - № 10.

92. Заявка Япония №61-189853 Ролик рольганга. /Ябуко Такахиро // Бюллетень изобретений- 1987. -№ 12.

93. А.С. №1719119. СССР, МКИ4 В21 В39/00.Способ центрирования полосы на отводящем рольганге широкополосного стана / Поляков Б.А. и др. (СССР). -3769070/00-2: Опубл. 1986, Бюл. №4.

94. Заявка Япония №58-119449. Ролик для горячей обработки /Куроки Таконори // Бюллетень изобретений. - 1984. - №9.

95. Заявка Япония №60-174209. Сборный ролик для транспортирования горячего проката. /Китадзава Набору и др. // Бюллетень изобретений. - 1986. - № 12.

96. Заявка ФРГ №3427707. Ролик с внутренним охлаждением / Е.Планкер// Бюллетень изобретений. - 1987. - №1.

97. А.С. №1068353. СССР, МКИ4 В65 В13/00, 39/00. Ролик рольганга /Черепанцев К.Т. (СССР). - 3440844/27-11: Опубл. 1984, Бюл. № 3.

98. Заявка Япония №1-37312. Ролик рольганга. /Нисисана Анихино// Бюллетень изобретений. - 1987. - №2.

99. А.С. №850245. СССР, МКИ3 В21 В39/00. Ролик рольганга / Бринза В.Н. и др. (СССР). - 2759639/22-02: Опубл. 1981, Бюл. №28.

100. А.С. №1047166. СССР, МКИ4 В21 В39/00. Отводящий рольганг листопрокатного стана/ Антонов В.М. и др. (СССР). - 2960170/00-02: Опубл. 1983, Бюл. № 38.

101. А.С. №1411226. СССР, МКИ3 В21 В39/00. Ролик рольганга /Бринза В.Н. и др. (СССР). - 2759639/22-02: Опубл. 1981, Бюл. №28.

102. А.С. №1063497. СССР, МКИ4 В21 В39/00. Рольганг широкополосного непрерывного стана / Брехов Е.В. и др. (СССР). - 3476727/22-02: Заявлено 28.07.82. Опубл. 1983, Бюл. №48.

103. А.С. №1171133 СССР, МКИ4 В21 В39/00. Ролик рольганга /Тригубчук В.М. и др. (СССР). - 3711531/22-02: Опубл. 1985, Бюл. №29.

104. Давильбеков Н.Х., Курапов Г.Г. Надежность работы механического оборудования листопрокатных станов. Алматы: КазНТУ имени К.И. Сатпаева. 2002. 199 с.

105. Разработка технологических требований кэлектроприводуотводящего рольганга с целью снижения износа бочек роликов / С.И.Лукьянов, Н.В. Швидченко, А.П. Мухин и др. // Труды V Международной конференции по автоматизированному электроприводу: 18-21 сентября 2007 г. - Спб., 2007. -С. 350-352.

106. Давильбеков Н.Х., Клементьев В.А. Увеличение стойкости роликов отводящего рольганга листопрокатных станов //Сталь. 1994. №2. С. 44-47.

107. Ханжонков В.И. Аэродинамика аппаратов на воздушной подушке. -М.: Машгиз, 1972. -232 с.

108. Ханжонков В.И. Аэродинамика и энергетические характеристики летательных аппаратов на воздушной подушке с сопловым устройством. / /В сб. Аэродинамика летательных аппаратов на воздушной подушке.-М. : Машгиз, 1963. -С. 5-10.

109. Адасинский С.А. Транспортные машины на воздушной подушке. -М. : Наука, 1964. -174 с.

110. Кобозов В.М. Проектирование и расчет подвижного состава на воздушной подушке. М. : МЭИ, 1973. - С. 15-30.

111. Патент США №4517690.Поддон на воздушной подушке с многочисленными выпускными воздушными клапанами./Бюллетень изобретений. -1985. №3.

112. Патент США №3825093 Модульная система транспортировки груза на воздушной подушке. /Бюллетень изобретений. -1974. -№ 4.

113. Патент Великобритания №1353585. Перемещение грузов на газовой подушке. /Бюллетень изобретений.1974. -№ 44.

114. Патент США №4517690.Поддон на воздушной подушке с многочисленными выпускными воздушными клапанами./Бюллетень изобретений. -1985. №3.

115. Патент Нидерланды №1022654.Ленточный конвейер на воздушной подушке. / Енкерс К.О. // Бюллетень изобретений. -1983. -№ 21.

116. А.С. №1053701 СССР.МКИ В65 В10/00. Ленточный конвейер на воздушной подушке./ Аралкин А.С. и др. (СССР).-Заявлено 1982.Опубл. 1983, бюл. №43.

117. Патент Франция №2375115 Устройство для перемещения пластин на паровоздушной подушке. /Бюллетень изобретений.-1978.-№34.

118. Патент ФРГ №1756070 . Устройство для транспортирования на воздушной подушке материала, в частности, стекла, имеющего форму листа или полосы /Бюллетень изобретений.-1976.-№3.

119. Патент США №3826329 Устройство на воздушной подушке /Бюллетень изобретений.-1974.-№5.

120. Патент США №3822765 Устройство на воздушной подушке для транспортирования груза /Бюллетень изобретений.-1974.-№4.

121. Патент 3734231 (США). Транспортное устройство на газовой подушке./Бюллетень изобретений.-1973.-№4.

122. Патент ФРГ №2449620 . Пневмостол для облегчения перемещения деталей в форме плит, стоп бумаги и подобных предметов. /Бюллетень изобретений. -1983. -№ 6.

123. Патент США №448077 Устройство для транспортирования полос. /Бюллетень изобретений. –1982. -№9.

124. Патент Японии №56-92889 Устройство для бесконтактной транспортировки полос./Бюллетень изобретений.-1984. -№6.

125. Патент ФРГ №3431125 Устройство для транспортировки тонких горячекатаных полос./ Бюллетень изобретений.-1987. -№1.

126. А.с. ЧССР №246124 Устройство для приподнимания полос в сушильных устройствах. /Бюллетень изобретений. –1987.-№3.

127. Патент Японии №61-186427 Устройство плавающего типа для транспортирования полосы. /Бюллетень изобретений. -1986.-№9.

128. Патент Японии №60-101598 Устройство для перемещения полосы с использованием газовой подушки. /Бюллетень изобретений. – 1985. №7.

129. Сагымбаев А.С., Ескулов С.С., Гусейнов К.А. Особенности эксплуатации и пути совершенствования транспортировки раската после чистовой клети НШПС 1700 КарМК. Сб. Исследование оборудования и технологии металлургического производства. Алматы, 1986, С. 53-57.

130. Патент РК № 4311. Устройство для охлаждения движущейся горячекатаной полосы. Давильбеков Н.Х., Курапов Г.Г., Ескулов С.С., Сагымбаев А.С., Клементьев В.А., Косыгин А.В. 30.11.93.

131. Патент 4480777, США. Suzuki Seiji, Kawate Kenji, Tawara Hikoshi. Заявл. 14.06.1982, № 388297. Опубл. 06.01.1984. Приор. 15.06.1981, № 56-92889, Япония. МКИ В65Н 17/32, 25/26, НКИ 226/15. УДК 621. 771,23.002.52.

132. Патент 61-186427, Япония. Заявл. 14.02.85. № 60-25292. Опубл. 20.08.86. МКИ С21Д 9/63, УДК 621.771.23.002.52/Устройство плавающего типа для транспортирования полосы //Харда Масахиро, Янаги Кэньити, Хёдзу Кинсе, Сто Куниаки, Накадзимо Ясухиса, Соэда Наохико, Ото Норио; Мицубиси Дзюкоге К.К. Кавасаки сейтэцу К.К.

133. Патент 3431125, ФРГ. Заявлено 24.08.1987, № P34311254. Опубл. 06.03.1986. МКИВ 21В 39/00, В 65 Н 23/24. УДК 621.771.23.002.52 / Transport vorrichtung fur Melallbander-hinter einemWalzgerust, insbesonderl fur dunne Warmbander. BWG Beegwerk -und Walzweek MaschinenbauGmbh // Noe Oskar, Noe Rolf, Noe Andreas.

134. Патент 61-261438, Япония. Заявлено 15.05.85, № 60-101598. Опубл. 19.11.1986. МКИ С21Д 9/63. УДК 621.771.23.067 / Устройство для перемещения полосы с использованием газовой подушки // Харада Масахиро, Окида Хадзимэ, Хедзу Канэаки, Мицубиси Дзюкоге К.К., Кавасаки Сэитэчу К.К.

135. Патент 61-261439, Япония. Заявлено 15.05.85, № 60-101599. Опубл. 19.11.1986, МКИ С21Д 9/63. УДК 621.771.23.067 / Устройство для перемещения полосы с использованием газовой подушки // Харада Масахиро, Окида Хадзимэ, Хедзу Канэаки, Мицубиси Дзюкоге К.К., Кавасаки Сэитэчу К.К.

136. Патент 62-142729, Япония. Заявлено 17.12.1985, № 60-282118. Опубл. 26.06.1987. МКИ С21Д 9/63. УДК 621.771.23.067/Оборудование для бесконтактного перемещения листа // Окай Такаси, Кавадт Нариюки, Харада Масахиро.

137. А.с. 246124, ЧССР, МКИ В05Д 3/04, Заявка 10106-83, заявлено 29.12.1983. Опубл. 15.09.1987 / Устройство для приподнимания полосы в сушильных и подобных технологических устройствах // Korger Milan Sedlacer Jasef.

138. Мазур В.Л., Ноговицын А.В. Теория и технология тонколистовой прокатки (численный анализ и технические приложения). – Днепропетровск: РВА «Дніпро-VAL», 2010. – 500 с.

139. Смирнов М.А., Счастливцев В.М., Журавлев Л.Г. Основы термической обработки стали: Учебное пособие. - Екатеринбург: УрО РАН, 1999. -496 с.

140. Формирование структуры и механических свойств сталей / В.Н. Урцев, В.Ф. Рашников, А.А. Морозов и др. // Отделение металлургии Академии проблем качества Российской Федерации (серия "Сталь. Структура и свойства"). Книга четвертая. /Под редакцией академика Рашникова В.Ф. -Магнитогорск: Дом печати, 1998. - 160 с.

141. Влияние температурно-деформационных параметров прокатки тонколистовой низкоуглеродистой стали на кинетику распада аустенита / А.В. Янковский, Г.В. Левченко, С.А. Воробей и др. // Фундаментальные и

прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр. — Дніпропетровськ.: ІЧМ НАН України, 2004. - Вип. 8. - С. 269-274.

142. Капуткина Л.М., Мармулев А.В., ПолякЕ.И. Влияние условий охлаждения рулонов на неравномерность структуры и механических свойств горячекатаных высоко-прочных автолистовых сталей, МиТОМ, 2012, 12. С. 14-18.

143. Структура,распределениеэлементовисвойствагорячекатанойлисто войнизкоуглеродистойстали08пс/ А.Ю. Путноки, В.Т. Тилик, В.Г. Иванченко, В.З. и др. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии, 2009, вип. 20. С. 196-205.

144. Бережной Н.Н., Мацышин С.О. Влияние температурно-деформационных параметров прокатки на структуру стали и методы ее исследования //Гірничийвісник: науково-технічнийзбірник. - Вип. 95(1).-КривийРіг.,2012.-с.92-96.

145. Тушинский Л. И., Ботаев А.А., Тихомирова Л.Б. Структура перлита и конструктивная прочность стали. - Новосибирск: ВО «Наука», 1993. -279 с.

146. Влияние прокатки в двухфазной области на дисперсность перлитной составляющей в стали 1кп. / А.А. Морозов, В.Н.Урцев, В.И. Дегтярев и др.// Сб. науч. тр. Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением / Под ред. В.М, Салганика. - Магнитогорск: МГТУ, 2000. - С. 121 - 124.

147. Структурааустенита и свойства горячекатаной стали / Л.И. Гладштейн, Д.А.Литвиненко, Л.Г. Онучин и др. // М.: Металлургия, 1983. – 112 с.

148. Влияниедеформации в двухфазной области γ+α на свойства материала и технологию получения тонкой горячекатаной полосы / У. Лоренс, К. Херциг, В. Блэк и др. // Черные металлы, апрель 2003.– С. 42–49.

149. Анализ причин формирования неравномерности структуры по сечению тонких горячекатаных полос / Г.В. Левченко, С.А. Воробей, А.В.Янковский // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Выпуск 5. 2002.– С. 250–256.

150. Мазур В.П., Чмелев А.А. Выбор оптимальных режимов охлаждения тонких горячекатаных полос из низкоуглеродистых сталей//Черная металлургия: Бюл. НТИ. 1985. №5. -С.42-43.

151. Полухин В.П., Потемкин В.К., Провидохин Б.И., Хлопонин В.Н. Исследование эффективности охлаждения горячекатаной полосы перед смоткой ее в рулон/ Сб. научн. тр. МИСиС.-М.:Металлургия. 1975. №80. - С.119-123.

152. Online electromagnetic monitoring of austenite transformation in hot strip rolling and its application to process optimization / A.V. Marmulev, G.

Herman, J.-M. Turon, E.I. Poliak and L.M. Kaputkina // Revue de Métallurgie, 2013, 110, 205-215, doi:10.1051/metal/2013064.

153. Microstructure Heredity and Non-Uniformity of Mechanical Proprieties of Cold Rolled Ferrite-Pearlite and Ferrite-Bainite Steel dur-ing its Manufacturing Proceedings of 10th / L.M. Kaputkina, A.V. Marmulev, G. Herman, E.I. Poliak // INTERNATIONAL CONGRESS "MACHINES, TECHNOLOGIES, MATERIALS" 18 - 20.09.2013, Varna, Bulgaria, p. 13

154. Федонин О. В. Перспективы развития производства холоднокатаного проката на мировом и российском рынках/ О. В. Федонин, С. Я. Унру, М. В. Немкин, Д. Н. Даниленко, Е. Л. Кандауров //Металлург. № 5. 2011. – С. 9-17.

155. Современные тенденции развития технологии производства горячекатаных особо тонких полос / В.Г. Иванченко, В.Т. Тилик, О.Н. Штехно и др. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр. — Дніпропетровськ.: ІЧМ НАН України, 2004. — Вип. 8. — С. 232-238.

156. Зиновьев А.В. Технология прокатки и смотки тонких полос на литейно-прокатном агрегате // Новости черной металлургии за рубежом. 2006. № 2. С. 49-52.

157. Ефименко С.П., Тарасевич Ю.Ф. Перспектива производства особотонкого горячекатаного листа // Тр. Третьего конгр. прокатчиков. - М.: АО "Черметинформация", 2008. - С. 60-65.

158. Тонкослябовые литейно-прокатные агрегаты: развитие технологии, компоновок и оборудования / И.Г. Гун, В.М. Салганик, Ф.В. Пивоваров и др. // Черная металлургия: Бюл. НТ и ИЭ - М.: Черметинформация, 2000. - Вып. 3-4. - С. 23-25.

159. Рудой Л.С. Двухвалковая установка непрерывной разливки стали (ДВ УНРС)/ Л.С. Рудой // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2010. – №7. – С.244-246.

160. Grydin O., Batyrshina E., Bach Fr.W. MathematischeModellierung des Giebens von dunnen Blechennachdem Zwei-Rollen-Verfahren // Proc. of ANSYS Conference, 27th CADFEM Users' Meeting, Leipzig. – 2009. – 2.11.15.–S. 1-9.

161. Машеков С.А., Алимбетов А.Б., Нугман Е.З.Продольно-клиновой стан для прокатки полос из сталей и сплавов// Патента РК №27884. Опубл. 25.12.2013бюл. №12. 3с.: ил.

162. Машеков С.А., Курмангалиева Л.А., Алимбетов А.Б. Отводящий рольганг широкополосных прокатных станов // Патент РК № 27722 . Опубл. 18.12.2013, бюл. №12. 3 с.: ил.

163. Лукашкин Н. Д., Кохан Л. С., Якушев А. М. Конструкция и расчет машин и агрегатов металлургических заводов: учебник для вузов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 327 с.

164. Мазур В.Л., Добронравов А.И., Чернов П.П. Предупреждение дефектов листового проката. - Киев: Техника, 1986. 141 с.

165. Качество листа и режимы непрерывной прокатки/ П.И. Полухин, Д.Н. Заугольников, М.А. Тыльников и др. – Алма-Ата: Наука, 1974. – 400 с.

166. Особенности эксплуатации роликов чистовых рольгангов широкополосных станов горячей прокатки В.И.Куликов, Е.В., Ковалевич В.С. Сульменеви Г.Н. Бурмистров // Сталь. - 1980. №5. С. 400–401.

167. Куликов В.И., Ковалевич Е.В, Сульменев В.С. и др. Эксплуатационная стойкость роликов чистовых рольгангов широкополосных станов горячего проката. Труды ЦНИИТМАШ. - 1980. №160. С.48–56.

168. Расчет мощности привода роликов отводящего рольганга с воздушной подушкой / С.А.Машеков, Б.Н.Абсадыков, А.Б. Алимбетов и Н.С.Сембаев // Вестник КазНТУ, Алматы, 2015. № 3.С.36-44.

169. Совершенствование оборудований и технологии производства тонких полос из металлов и сплавов - Машеков С.А.,Абсадыков Б.Н.,Машекова А.С. XVI Międzynarodowa Konferencja Naukowa«Nowe Technologie i Osiągnięcia w Metalurgii, Inżynierii Materiałowej i Inżynierii Produkcj», Częstochowa 2015 P.198-204.

170. Гухо В.Г. Аэродинамика автомобиля. – М.: Машиностроение, 1987. 420 с. Оригинал: Aerodynamik des Automobils, Vogel-Verlag, 1981. 2. web sites: .ru.

171. Иванов О.П., Мамченко В.О. Аэродинамика и вентиляторы. Учебник для вузов. Л.: Машиностроение, 1986.

172. Пятибрат.В. П. Упрощенные способы расчета нагнетателей: Метод.указания /. – 2-е изд., исправ. – Ухта : УГТУ, 2013. – 22 с.

173. krokusvent.ru/Vysdavl.html@.

174. Дунаев П.Ф., Лёликов О.П. Детали машин. Курсовое проектирование Высшая школа, 5-е издание. – 1998. – 496 с.

175. Брусиловский И.В. Аэродинамика осевых вентиляторов. М.: Машиностроение, 1984. 240 с.

176. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры. М.: Энергоатомиздат, 1984. 416 с.

177. Богословский В.Н.и др. "Вентиляция и кондиционирование воздуха" Справочник проектировщика. Москва, Стройиздат 1978г.

178. Чистяков Ф.М. Центробежные вентиляторы (аэродинамические основы и характеристики). М.: МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1983. 60 с.

179. Беккер А. Системы вентиляции: Пер. с нем. под ред. Г.В. Резникова. М.: Техносфера, 2005. 232 с.

180. Гришко А.П., Шелоганов В.И. Стационарные машины и установки. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 325 с.Курсовое и дипломное

проектирование по вентиляции гражданских и промышленных зданий / В.П. Титов, Э.В. Сазонов, Ю.С Краснов и др. -М.: Стройиздат, 1985. 208 с.

181. Справочник металлиста: В 5-ти т. Т. 5./ Под С74 ред. Б. Л. Богуславского—М.: Машиностроение, 1978. — 673 с.,

182. Куликов В.И., Ковалевич Е.В., СульменевВ.С., Бурмистров Г.Н. Особенности эксплуатации роликов чистовых рольгангов широкополосных станов горячей прокатки // Сталь. - 1980. №5. С. 400–401.

183. Куликов В.И., Ковалевич Е.В, Сульменев В.С. и др. Эксплуатационная стойкость роликов чистовых рольгангов широкополосных станов горячего проката. Труды ЦНИИТМАШ. - 1980. №160. С.48–56.

184. Разработка системы транспортировки стальной полосы на воздушной подушке / HiraiE.e.a //Дзайре то Пуросэру =Сшт. adv. mater, andProc. - 1991. - 4, №2. С. 673.

185. Разработка конструкции нового стана и отводящего рольганга для горячей прокатки тонких полос / С.А.Машеков, Л.А.Курмангалиева, А.Б.Алимбетов и др.// Труды Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии, оборудование и материалы в машиностроении» Алматы: КазНТУ им. К.И. Сатпаева, 1-2 ноября 2012. . С.191-200.

186. Производство тонких горячекатаных полос с использованием нового продольно-клинового стана и отводящего рольганга / С.А.Машеков,Е.З.Нугман, А.Б.Алимбетов и др.// Труды Международного форума «Инженерное образование и наука в XXIвеке:проблемы и перспективы», посвященные 80 – летию КазНТУ имени К.И.Сатпаева-Алматы: КазНТУ 2014. С.332-341.

187. Валерий Концевич: Современный самоучитель работы в Autodesk Inventor ДМК-Пресс, 2009 г.

188. Расчет на прочность силовых элементов продольно-клинового стана и отводящего рольганга новой конструкции/ С.А.Машеков,Б.Н.Абсадыков, А.Б.Алимбетов и др.// Научный журнал Братского Государственного Университета «Системы.Методы.Технологии» РФ. г.Братск 2015г. С.24-31.

189. Повышение качества листового проката путем разработки новой конструкции отводящего рольганга / С.А.Машеков,Г.А.Смаилова, А.Б.Алимбетов и др.// Вестник КазНТУ, Алматы, 2014. № 5. С.228-234.

190. Matsuoka S., Fumkiini O., Obara T. Процесс непрерывной горячей прокатки тонких стальных полос // Netsushori - J. Jap. Soc. HeatTreat. 1996. 36. P. 299-304. (РЖ Металлургия. 6Д70. 1997).

191. Новые разработки фирмы DanieliUnited для горячей прокатки полос толщиной менее 1,0 мм // НЧМ. 1999. № 4. – С. 85-88.

192. Flick F., Djumlija G. Conroll. Технология производства тонкой горячекатаной полосы // Steel Times International. 1997. №3. P. 15 - 23 (НЧМ. 1998, № 2. – С. 50 – 61).

193. Зотов, В.Ф. Производство проката. – М.: Интермет Инжиниринг, 2000. – 352 с.

194. Брунзель Ю.М., Вираховский Ю.Г., Фомин И.М. Особенности превращения деформированного аустенита в изотермических условиях при термомеханической обработке сталей на перлитную структуру // МИТОМ. -1994.-№11. - С.4-8.

195. Алдунин А.В. Основные принципы оптимизации процессов горячей прокаткиполос по структуре и пластичности металла // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 2008. – № 5. – С.23–26.

196. Выбор технологических режимов горячей прокатки тонких полос / В.Л.Мазур, Л.А.Чмелев, В.А.Мазур и др. // Сталь, 1984. –№ 3. – С. 37–40.

197. Горелик С.С., Добаткин С.В., Капуткина Л.М. Рекристаллизация металлов и сплавов. М.: МИСИС, 2005. 432 с.

198. Пастухова Ж.П., Рахштадт А.Г., Каплун Ю.А. Динамическое старение сплавов. М.: Металлургия, 1985. 223 с.

199. Бабич В.К., Гуль Ю.П., Долженков И.Е. Деформационное старение стали. М: Металлургия, 1972. 320 с.

200. Полухин П.И., Гун Г.Я., Галкин А.М. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов. Справочник. М.: Металлургия, 1983. 352 с.

201. Влияние прокатки в двухфазной области на дисперсность перлитной составляющей в стали 1кп. / А.А. Морозов, В.Н. Урцев, В.И., Дегтярев и др. // Сб. науч. тр. Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением / Под ред. В.М, Салганика. - Магнитогорск: МГТУ, 2000. - С. 121 - 124.

202. Машеков С.А., Алимбетов А.Б. Производство тонких горячекатаных полос с использованием нового продольно-клинового стана и отводящего рольганга // Вестник КазНТУ, Алматы, 2015, № 3.С.234-243.

203. Губанов С.А., Чикишев Д.Н. Ускоренное контролируемое охлаждение, применяемое на толстолистовых станах для производства высокопрочных сталей//Калибровочное бюро (www.passdesign.ru). 2014. Выпуск 3.1. С. 4 – 10.

204. Коновалов Ю.В. Справочник прокатчика. Справочное издание в 2-х книгах. Книга 1. Производство горячекатаных листов и полос. М.: Теплотехник, 2008. 640с.

205. Салганик В.М., Румянцев М.И. Технология производства листовой стали: Учебное пособие. Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова». 2013. 320с.

206. Губанов С.А., Чикишев Д.Н. Способы ускоренного контролируемого охлаждения, применяемые в металлургической

промышленности // Інтернаціонализація наукового гопошуку: перпективы та проблемы – Частина II: Міждународня конференція, м. Київ, 28 грудня 2013р. Центр наукових публікацій. С. 19-23.

207. Модернизация технологии производства крупногабаритных тел вращения / Д.Н.Чикишев, А.М.Песин, В.М.Салганик, Э.М.Дригун // Материалы 63-й науч.-техн. конф. по итогам научно-исследовательских работ за 2003-2004 гг.: Сб. докл. Т.1. Магнитогорск: МГТУ, 2004. С. 7-10.

208. Asymmetric rolling: Theory and Technology / A.M.Pesin, V.M.Salganik, H.Dyja, D.N.Chikishev, D.O.Pustovoitov, A.Kawalek // Hutnik-wiadomosci hutnicze. 2012. No 5. P. 358-363.

209. Газимов Р.Т., Демин А.В., Салихов З.Г. Способ идентификации процесса формирования макро структуры сляба в зоне вторичного охлаждения криволинейных МНЛЗ / Тр. 5-йроссийской мульти конференции по проблемам управления: «Управление в технических, эргатических, организационных и сетевых системах» (УТЭОСС-2012). – СПб., 2012. –СПб.: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2012. – С. 376–379.

210. Кабаков З.К. Цюрко В.И. Метод управления охлаждением полосы на отводящем рольганге широкополосного стана горячей прокатки / Научно -технический прогресс в металлургии: Материалы всероссийской научно -практ. конф. «Череповецкие научные чтения 2011», Череповец: ГОУ ВПО ЧГУ . – 2012. – с.97 -101.

211. Машеков С.А., Абсадыков Б.Н. Проблемы и перспективы прокатного производства Монография. Алматы: Казахстанско-Британский технический университет, 2011. 300 с.

212. Физическое моделирование горячей прокатки и охлаждения тонких полос на продольно-клиновом стане и отводящем рольганге новой конструкции / С.А. Машеков, Б.Н.Абсадыков, А.Б. Алимбетов и др.// Доклады Национальной Академии Наук Республики Казахстан Алматы 4.2015. С.66-77.

213. www.gleeble,com или http://tmslab.spbstu.ru.

214. Cooling modes influence on quality of hot-rolled metal at transportation of sheets on the new collecting role table - S.A.Mashekov, B.N.Absadykov, N.S.Sembayev, A.B.Aleembetov, A.S.Mashekova. International Journal of Chemical Sciences (Scopus IF=0.12) -2015. V.13 №2 –P.1057-1070.

More Books!

yes

I want morebooks!

**Покупайте Ваши книги быстро и без посредников он-лайн - в одном из самых быстрорастущих книжных он-лайн магазинов!
Мы используем экологически безопасную технологию "Печать-на-Заказ".**

Покупайте Ваши книги на
www.morebooks.de

Buy your books fast and straightforward online - at one of the world's fastest growing online book stores! Environmentally sound due to Print-on-Demand technologies.

Buy your books online at
www.morebooks.de

SIA OmniScriptum Publishing
Brivibas gatve 1 97
LV-103 9 Riga, Latvia
Telefax: +371 68620455

info@omniscriptum.com
www.omniscriptum.com

OMNIScriptum