О Т З Ы В

официального оппонента о диссертационной работе Шопина Ивана Ивановича на тему: «Исследование формоизменения горячекатаной стальной полосы при смотке в рулон для прогнозирования плоскостности полосы в холодном состоянии», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.05 – «Обработка металлов давлением».

Непрерывные широкополосовые станы горячей прокатки, обладая высочайшей производительностью, выпускают готовые полосы широкого марочного и размерного сортамента с высокими показателями качества готового проката. Наряду с требуемыми значениями физико-механических свойств готового листового металла, к важным показателям качества этой продукции относятся поперечный профиль и продольная форма (плоскостность) её.

Если поперечный профиль, сформированный в процессе горячей деформации, при охлаждении полосы в рулоне не подвергается заметным трансформациям, то изменения формы полосы, особенно в продольном направлении, зависящие от условий охлаждения её в рулоне, остаются, на сегодняшний день, не предсказуемыми и не управляемыми. Это является причиной организации в цехах, занимающихся последующей переработкой горячекатаных полос в рулонах, серьёзного входного контроля с высокой долей отсортировки. По той же причине создаются на входе в последующие производства дорогостоящие линии подготовки горячекатаных полос (термообработка, правка и т.п.), затраты которых так же учитываются в цене готовой конечной продукции предприятия. Поэтому поставленная в данной работе задача – исследование закономерностей формоизменения горячекатаной стальной полосы при смотке в рулон, с целью прогнозирования плоскостности её в холодном состоянии, - является весьма актуальной .

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения с основными выводами. Библиографический список содержит 187 наименований научно-технических источников. Имеются восемь приложений с документами, подтверждающими внедрение и практическое использование отдельных результатов работы, а также справочные материалы для проведенных в работе математических выкладок. Работа изложена на 198 страницах машинописного текста, содержит 116 рисунков и 14 таблиц.

Во введении, с точки зрения диссертанта, обоснована актуальность темы диссертации, достаточно четко сформулирована цель, научная новизна и практическая значимость результатов работы; приведены основные положения, выносимые на защиту.

Это разработка математической модели напряжённо-деформированного состояния (НДС) готовой горячекатаной полосы в условиях формирования её в рулон и динамики этого состояния в процессе изменения температурного поля остывающего рулона; проверка адекватности разработанных математических моделей; аналитические исследования формоизменения горячекатаной полосы в рулоне и разработка практических рекомендаций по снижению потерь от неплоскостности горячекатаных полос на последующих переделах.

В первой главе диссертации представлен обзор научно-технических источников, опубликованных в открытой печати и посвященных изучению напряженно-деформированного и теплового состояний рулона и процессов формирования плоскостности горячекатаных полос.

Отмечается, что в процессе поиска в литературных источниках не найдено подходящих математических моделей динамики НДС в процессе смотки и пребывания в рулоне горячекатаной полосы, которые можно было бы использовать непосредственно для анализа. Однако, существует большое количество математических моделей НДС холоднокатаной полосы в рулоне, с показом динамики его при термообработке такой

полосы в колпаковых печах. Подробный обзор этого направления представлен автором.

Для исследования динамики температурного поля остывающего рулона, автор после достаточно полного анализа научно-технических источников, остановился на решении нестационарного трехмерного дифференциального уравнения теплопроводности в цилиндрических координатах с анизотропными нелинейными коэффициентами, методики определения значений которых так же представлены в обзоре.

В заключение обзора автор совершенно справедливо уделяет внимание работам, где рассматривается воздействие на плоскостность явлений релаксации и ползучести, так как изменение формы полосы в стационарно нагруженном рулоне во многом может определяться динамикой температурных напряжений в том же рулоне, который, с целью достижения заданного уровня физико-механических свойств готовой полосы, может быть подвергнут регулируемому охлаждению (РОР).

По итогам проведенного обзора автор сформулировал цель своего исследования и определил задачи, решение которых приведёт к достижению поставленной цели.

Во второй главе разработана математическая модель расчета НДС в процессе смотки с натяжением геометрически готовой полосы в рулон, учитывающая имеющуюся уже на ней шероховатость, поперечную разнотолщинность и неплоскостность. Поскольку перечисленные параметры носят геометрический, а не физический характер, то проверка адекватности модели имеет одно обязательное условие: наличие «ширины зоны плотной смотки» смежных витков рулона. Этот факт несколько сужает аналитические возможности разработанной модели, но не умаляет результатов проведённых исследований показавших, что поперечная разнотолщинность полосы оказывает наибольшее воздействие на НДС рулона, остальные факторы, шероховатость и натяжение смотки, оказывают хоть и заметное, но менее значимое воздействие на напряженно-деформированное состояние рулона.

На основе результатов аналитических исследований, проведенных с помощью той же математической модели, получен целый ряд важных качественных выводов, в том числе и в цифровом выражении, о зависимости некоторых показателей напряжений от других параметров сматываемой полосы и полученного из неё рулона.

В третьей главе представлен пример практического применения разработанной во второй главе модели напряженно-деформированного состояния рулона для решения проблемы: потеря устойчивости его формы при смотке полос с полимерным покрытием. На основе результатов математического моделирования НДС рулона определена назначаемая абсолютная величина натяжения при смотке таких полос и изменён целый ряд других технически параметров производственного процесса. Это позволило на порядок уменьшить процент убыточности из-за потери форы рулонами после снятия их с барабана моталки, см. Приложение 3. Эффективность решения данной проблемы подтвердила адекватность разработанной математической модели.

Четвертая глава посвящена исследованию связей динамики температурного поля рулона горячекатаной полосы с процессами, влияющими на её последующее формоизменение.

В качестве модели теплового состояния рулона выбрано решение дифференциального уравнения теплопроводности в цилиндрических координатах с анизотропными нелинейными коэффициентами. Широкое применение этой схемы решения тепловой задачи в практике многочисленных исследований, позволило автору достаточно свободно определиться с множеством теплотехнических коэффициентов, используемых в подобных случаях. Адаптация полученной модели проводилась на основе экспериментальных данных, так же приведенных в научно-технических источниках, и показала, по заключению диссертанта, очень хорошие результаты.

Далее в главе описаны результаты моделирования изменения плоскостности полосы в процессе смотки и охлаждения её в рулоне в зависимости от шероховатости, натяжения при смотке, исходной неплоскостности и профиля поперечного сечения.

Расчётные, прогнозируемые результаты по виду неплоскостности сравнивали с практическими измерениями неплоскостности на 60 реальных, холодных полосах у начального, центрального и концевого участка. При этом, точность прогноза вида неплоскостности составила 62% на средних участках длины полос, а на концевых участках – до 92%.

В пятой главе показано, что все технологические параметры, определённые разработанной математической моделью в качестве наиболее значимых для процесса формоизменения полосы при смотке и охлаждении, являются не управляемыми. Однако измерения плоскостности горячекатаной полосы прибором RM-312, установленным на выходе из чистовой группы клетей стана 2000, и оценка её с помощью прогнозного моделирования плоскостности полосы в холодном состоянии позволяют за счет изменения маршрута обработки горячекатаных рулонов сократить потери в цеху холодной прокатки.

Оценка новизны и достоверности результатов.

Новизна работы состоит в том, что автор использовал аналитическое решение задачи нахождения напряженно-деформированного состояния композиции неплотно сопряженных полых цилиндров переменной толщины, неравномерно нагруженных по образующим со свободными торцами. Кроме того, при пассивном эксперименте удалость доказать значимое воздействие на плоскостность готовой горячекатаной полосы процесса формоизменения её в рулоне.

Высокая степень обоснованности и достоверности теоретических выкладок диссертационной работы определяется использованием автором методов математической статистики, классических зависимостей теорий упругости, термоупругости и ползучести.

Результаты лабораторных и промышленных исследований не вызывают сомнений в точности и правильности полученных данных, так как проведены с соблюдением всех методических регламентов и с помощью сертифицированного оборудования, приборов и аппаратуры.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты использованы для снижения потерь в цехе холодной прокатки динамной стали в условиях ОАО «НЛМК». Годовой экономический эффект от внедрения результатов данной работы составил 6,3 миллионов рублей.

Основное содержание и результаты работы опубликованы в 20 печатных трудах, в том числе 7 статей в изданиях, входящих в перечень ведущих российских рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ. Кроме того, результаты докладывались и обсуждались на международных, всероссийских и отраслевых конференциях и семинарах.

К представленной диссертации имеются **замечания и вопросы:**

-Несмотря на положительно отмеченный комплексный характер работы в целом, итоговые разработки управляющих воздействий ограничиваются технологическими операциями только холодного передела, не затрагивая предыдущие технологические процессы.

- Не проведена оценка влияния изменения условий регулируемого охлаждения рулона (РОР) после горячей прокатки на процесс формоизменения полосы.

- Факторный анализ проведен в основном средствами математического моделирования. Не проведена экспериментальная оценка воздействия отдельных факторов в рамках активного промышленного эксперимента. Выводы подкреплены только в рамках пассивных экспериментов.

- В справке (Приложение А) содержание «Выводов» опровергает правильность содержания проведенного анализа сопоставления величин неплоскостности?

- Научная новизна работы, связанная с производством, как правило, подтверждается наличием запатентованных технических решений или заявками на патент. Данная информация в диссертации отсутствует.

- Присутствие редакторских погрешностей, типа: под №9 две разных таблицы, нет табл.№11; в оглавлении и на стр. 127 - «4.2 НДС рулона в процессе охлаждения после»; стр.6 – «горячекатаные рулоны»; стр.103 – «широкий (1250 мм) и узкий (0,35 мм) металл».

Отмеченные замечания не снижают ценности научных и практических результатов, полученных в диссертационной работе Шопина И.И. Все основные положения, выводы и рекомендации работы базируются на строгом научном подходе, достоверность математического моделирования подтверждена результатами промышленных опробований, в связи с чем их достоверность и обоснованность не вызывают сомнений.

Диссертационная работа Шопина И.И. является законченной научно-исследовательской работой, содержащей ряд новых научно-технических решений актуальной задачи по разработке и внедрению технологии производства конкурентоспособного полосового проката со стабильным уровнем потребительских свойств при относительно низких производственных затратах. Содержание диссертации соответствует специальности 05.16.05 «Обработка металлов давлением».

Автореферат и опубликованные научные труды автора отражают основное содержание диссертации и полностью ей соответствуют.

Считаю, что диссертационная работа Шопина И.И. соответствует требованиям п.9 постановления Правительства РФ от 24.09.2013 N 842 (ред. от 28.08.2017) «О порядке присуждения ученых степеней» (вместе с «Положением о присуждении ученых степеней»). На основании вышеизложенного считаю, что представленная к защите диссертация полностью отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Шопин Иван Иванович . заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.05 «Обработка металлов давлением».

Официальный оппонент,
ведущий научный сотрудник ЦНМТ
ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П.Бардина»,
кандидат технических наук В.В. Чащин

Подпись Чащина В.В. заверяю.
Ученый секретарь ФГУП
«ЦНИИЧермет им. И.П.Бардина» Т.П. Москвина

ЧАЩИН Валерий Васильевич, кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник Центра новых металлургических технологий Федерального государственного унитарного предприятия «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»
т. 8-(915)093-09-18, e-mail - info@corad.ru
ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина», 105005, Москва, ул. Радио 23/9, стр. 2