

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.324.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И. НОСОВА»,
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «22» марта 2022 г. № 5

О присуждении Медведевой Екатерине Михайловне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Совершенствование технологического процесса производства арматурных канатов на основе оценки НДС проволоки методами компьютерного моделирования» по специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением принята к защите 18.01.2022 г. (протокол № 3) диссертационным советом 24.2.324.01, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, приказ № 714/нк от 02.11.2012.

Соискатель Медведева Екатерина Михайловна, 20.02.1992 года рождения,

В 2015 году с отличием окончила магистратуру по направлению подготовки 22.04.02 Metallургия федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

В 2019 г. окончила аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по направлению 22.06.01 Технологии материалов, профиль «Обработка металлов давлением».

Работает специалистом 1 категории в управлении по международной деятельности федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре технологий обработки материалов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент, Голубчик Эдуард Михайлович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», кафедра технологий обработки материалов, профессор.

Официальные оппоненты:

Трофимов Виктор Николаевич, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», кафедра динамики и прочности машин, профессор,

Даненко Владимир Филиппович, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», кафедра технологии материалов, заместитель заведующего кафедрой,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (г. Красноярск) в своем положительном отзыве, подписанном Ворошиловым Денисом Сергеевичем, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой обработки металлов давлением и Сидельниковым Сергеем Бо-

рисовичем, доктором технических наук, профессором кафедры обработки металлов давлением, указала, что работа Е.М. Медведевой актуальна, содержит научную новизну и обладает практической значимостью. Структура работы отражает последовательное выполнение всех поставленных задач, достоверность полученных результатов подтверждена. В отзыве представлены рекомендации по дальнейшему использованию результатов исследования, а также обозначены общие замечания по работе, которые не оказывают влияния на общую положительную оценку работы. По мнению ведущей организации, диссертация «Совершенствование технологического процесса производства арматурных канатов на основе оценки НДС проволоки методами компьютерного моделирования» является завершённой научно-исследовательской работой, соответствует п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Медведева Екатерина Михайловна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 10 работ, из них в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК РФ опубликовано 3 статьи, 2 статьи – в журналах, индексируемых в международных базах Scopus и Web of Science.

Общий объем научных изданий 3,06 п.л. (из них личный вклад соискателя 2,1 п.л.). Сведения об опубликованных работах достоверны. Основные результаты, полученные в диссертационном исследовании, изложены в опубликованных работах. Авторский вклад в публикации заключается в постановке цели и задач исследования, в интерпретации полученных данных в результате моделирования процесса производства арматурных канатов, в формулировании основных положений и выводов по результатам экспериментов, в подготовке публикаций по материалам, полученным в области исследования распределения внутренних напряжений арматурного каната в процессах его обработки.

К наиболее значимым научным публикациям относятся:

1. Корчунов, А.Г. Теоретическое исследование напряженности стального арматурного проката методами компьютерного моделирования / А.Г. Корчу-

нов, Е.М. Медведева, Э.М. Голубчик // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2020. – Т. 76. – № 11. – С. 1139-1148.

2. Корчунов, А.Г. Анализ внутренних напряжений арматурного каната посредством компьютерного моделирования / А.Г. Корчунов, Е.М. Медведева, Э.М. Голубчик, Д.В. Константинов // Сталь. – 2020. – № 12. – С. 46-51.

3. Korchunov, A.G. FEM study of internal stresses evolution in prestressing strands / A.G. Korchunov, E.M. Medvedeva, P.V. Ivekeeva, D.V. Konstantinov // CIS Iron and Steel Review. – 2020. – Vol. 20. – P. 21–24.

4. Корчунов, А.Г. Влияние пластического обжатия на напряженно-деформированное состояние арматурного каната / А.Г. Корчунов, Е.М. Медведева, В.А. Харитонов, Д.В. Константинов // Черные металлы. – 2021. – № 11. – С. 50-54.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы (все отзывы положительные):

1. д.т.н. Г.А. Куницын, АО «Уральская Сталь», г. Новотроицк;

2. д.т.н. М.Н. Самодурова, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск;

3. д.т.н. С.А. Зайдес, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск;

4. д.т.н. И.П. Мазур, ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк;

5. д.ф.-мат.н. В.Е. Громов, к.т.н. С.А. Невский, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк;

6. доктор PhD Е.А. Панин, Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау;

7. к.т.н. Лаптева Т.А., АО «Белорецкий металлургический комбинат», г. Белорецк;

8. к.т.н. Лежнев С.Н., НАО «Рудненский индустриальный институт», г. Рудный;

9. к.т.н. А.Ю. Столяров, ОАО «ММК-МЕТИЗ», г. Магнитогорск;

10. доктор PhD А.С. Арбуз, ЧУ АОО «Назарбаев университет», г. Нур-Султан.

В отзывах на автореферат содержатся следующие замечания:

1. В работе делается отдельный акцент на практическую значимость расчетных моделей, однако в диссертации отсутствует информация о расчетном узле и калькуляционном времени, которые были затрачены на ее реализацию.

2. В работе не проведен сравнительный анализ с действующей методикой проектирования маршрутов волочения. Неясно, учитывает ли она в принципе компьютерное моделирование на этапе проектирования и имеет ли индустриальный партнер необходимые для этого ресурсы и инфраструктуру.

3. Непонятно, как на рисунке 4 автореферата трактовать режимы, закрашенные одновременно как благоприятные и неблагоприятные.

4. При постановке цели диссертации отсутствует четкие требования к качеству арматурного каната, которое автор предполагает достичь. Эта информация не обнаружена и при изложении актуальности темы.

5. В автореферате отсутствует описание деформирующего инструмента, которым обжимают канаты. Если его рабочая зона цилиндрическая, то осесимметричное деформирование невозможно осуществить, что отрицательно скажется на устойчивости остаточных напряжений.

6. Автор убедительно представил актуальность научного исследования, но, к сожалению, не привел результаты, доказывающие эксплуатационную эффективность изделий полученных по предлагаемым технологиям.

7. Почему в качестве стратегии оптимизации технологии производства арматурных канатов выбрано перераспределение продольных остаточных напряжений, а не полное их устранение?

8. Является ли выбранный для исследования маршрут волочения единственным для данных диаметров. Если нет, то по какой причине выбран именно он.

9. В работе продемонстрирован процесс исследования каната одной из самых простых конструкций. Неясно как будет изменяться методика моделирования с увеличением количества проволок или слоёв в канате. Является ли она универсальной?

10. В чем принципиальное отличие проведенной в диссертации работы по мультимасштабному моделированию процесса волочения перлитной стали от работ проф. Миленина из Горно-металлургической академии г. Кракова?

11. На рисунке 2 автореферата не указано направление оси волочения, вследствие чего он может быть не корректно трактоваться.

12. Неясно проводилась ли количественная оценка заполняемости профилеобразующих впадин, отраженная на рисунке 7 автореферата при различных режимах обжатия.

13. На странице 10 автореферата указано, что на основе моделирования и экспериментальных данных были определены как благоприятные режимы стабилизации, так и не благоприятные. Данное распределение нашло отражение в сводных таблицах на рис.4, однако не совсем ясны выводы по так называемым «пограничным» режимам (красно-зеленого цвета).

14. Сужена область исследования до рассмотрения арматурного каната одной конструкции.

15. Отсутствуют сведения о полученном или потенциальном экономическом эффекте от совмещения калибрующих обжатий с термомеханической деформацией каната.

16. Из текста автореферата неясно на основании каких данных был выбран коэффициент k' , зависящий от объёмной доли цементита в стали в приведённом соотношении Холла-Петча.

17. Неясно с помощью какой методики был определён показатель среднего значения «межпластинчатое расстояние» и «толщина цементитных пластин» на промышленных образцах проволоки.

18. Из автореферата непонятно, как в ходе моделирования нагревалась прядь каната. Производился ли расчет с учетом термодинамики процесса? Если нет, то почему.

19. Какой длины выбиралась модель каната для моделирования процесса обжатия в роликовом калибре?

20. В работе в ходе промышленного эксперимента проводилось исследование влияния скорости агрегата на процесс стабилизации, однако неясно учитывался ли этот фактор при моделировании?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их известными систематическими научными работами в области исследования напряженно-деформированного состояния металлических изделий с помощью современных методов компьютерного моделирования, разработками эффективных технологических решений по производству стальной проволоки и канатов,

а также способностью определить и оценить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана научная концепция применения мультимасштабных компьютерных моделей к многостадийным процессам производства стабилизированного арматурного каната, позволяющая получать и оценивать распределение параметров напряженно-деформированного состояния проволок арматурного каната на макро- и микроуровне;

предложен подход к прогнозированию итогового уровня временного сопротивления стабилизированного арматурного каната на основе учета особенностей микромеханики деформирования стали перлитного класса при волочении, оригинальность которого заключается в расчете посредством мультимасштабного конечно-элементного моделирования параметров микроструктуры: межпластиночного расстояния и угла поворота цементитных пластин;

доказана применимость разработанного подхода для оперативного проектирования технологического процесса производства арматурных канатов с контролируемым уровнем остаточных напряжений на основе применения разработанного комплекса мультимасштабных компьютерных моделей;

введен научно-обоснованный критерий в виде количественной оценки остаточных напряжений проволок после операции волочения и качественной оценки свивочных напряжений после процесса свивки проволок в канат, используемый для проектирования технологических процессов производства канатов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано существенное влияние остаточных напряжений в передельной проволоке, достигающих численного уровня от 25% до 68% от итогового временного сопротивления проволоки, на диапазон рациональных технологических режимов производства стабилизированного арматурного каната;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** современный метод мультимасштабного компьютерного моделирования с применением специализированного программного комплекса SIMULIA Abaqus, современные методы исследования микроструктуры, физико-механических свойств и остаточных напряжений проволоки;

изложены гипотеза и доказательства о необходимости учета остаточных напряжений для обоснования рациональных значений технологических параметров в многостадийном процессе производства стабилизированных арматурных канатов;

раскрыты проблемы и сложности учета внутренних напряжений металла в элементах стабилизированных арматурных канатов, заключающиеся в технической невозможности измерения параметров НДС материала при осуществлении технологического процесса их производства, решаемые за счет применения разработанного комплекса мультимасштабных компьютерных моделей;

изучены влияние параметров стабилизации (температуры и силы натяжения) и параметров калибрующего пластического обжатия (степени деформации) на перераспределение остаточных напряжений в проволоках после волочения и на устранение свивочных напряжений при свивке каната;

проведена модернизация существующего алгоритма проектирования технологических процессов производства стабилизированных арматурных канатов, за счет применения разработанных мультимасштабных компьютерных моделей процесса волочения проволоки, свивки и стабилизации;

Значение полученных соискателем результатов исследования для **практики** подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены рекомендации по проектированию технологий производства арматурных канатов, а также разработан технологический режим калибрующего пластического обжатия арматурного каната конструкции 1x7 (1+6) диаметром 12,5 мм, способствующий рациональному перераспределению наследуемых остаточных напряжений и повышению производительности процесса стабилизированных арматурных канатов в среднем на 3%;

определен диапазон технологических параметров температурно-силового воздействия (температура 380 – 400 °С и сила натяжения 70 – 82 кН) на арматурный канат диаметром 12,5 мм конструкции 1x7 (1+6), благоприятно влияющий на перераспределение внутренних напряжений каната;

создана методика, позволяющая снизить сроки (до одной недели) проектирования технологических процессов производства длинномерных изделий типа арматурный канат, основанная на пооперационном учете изменения напряженно-деформированного состояния металла в процессе производства стабилизированного арматурного каната;

представлен комплекс технологических режимов стабилизации при производстве арматурного каната диаметром 12,5 мм конструкции 1x7 (1+6), способствующий сохранению геометрии каната за счет учета напряженное состояние каната.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

эксперименты проведены в условиях действующего промышленного производства ОАО «ММК-МЕТИЗ» с использованием исследовательской инфраструктуры НИИ Наносталей (г. Магнитогорск) с применением современных высокоточных измерительных приборов, таких как оптический микроскоп Meiji Techno, сканирующий электронный микроскоп JSM 6490 LV, специальные модули и инструменты системы компьютерного анализа изображений Thixomet PRO, с учетом регламентируемой методики по ГОСТ 8233-56;

теория построена на базе накопленных проверенных знаний в области напряженно-деформированного состояния металла, не противоречит теоретическим основам ОМД и согласуется с опубликованными экспериментальными данными по исследованию особенностей формирования и изменения НДС проволоки и канатов в процессах их термомодеформационной обработки;

идея базируется на анализе практики эксплуатации стабилизированных арматурных канатов, практики их промышленного производства и анализе возможностей оценки сложно контролируемого напряженно-деформированного состояния металла, что не противоречит опубликованным результатам, представленным в независимых источниках;

использованы сравнения полученных автором результатов с данными, полученными ранее в ходе моделирования технологических процессов производства стальных арматурных канатов, в т.ч. стабилизированных;

установлена высокая степень сходимости результатов, полученных автором в результате компьютерного моделирования и в результате промышленного эксперимента, с данными из литературных источников;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации, лабораторные и промышленные сертифицированные измерительные системы, высокопроизводительные компьютерные мощности и современное программное обеспечение.

Личный вклад соискателя состоит в постановке цели и задач исследования, разработке мультимасштабных компьютерных моделей волочения, свивки, стабилизации и последующего пластического обжатия канатов, анализе и обобщении полученных результатов моделирования; в планировании и осуществлении отбора промышленных образцов проволоки после процесса волочения; в проведении лабораторных исследований по изучению механических свойств и микроструктуры опытных образцов пластически обжатых арматурных канатов; в формулировке основных положений и выводов диссертации. Все основные данные, приведенные в диссертации, получены лично автором или при её непосредственном участии.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания. В отзыве ведущей организации:

1. Задачи и выводы по диссертационной работе, на наш взгляд, недостаточно отражают полноту полученных автором результатов исследований. Это подтверждают выводы по главам, приведенные в диссертации.

2. Пункт 4 практической значимости отражает актуальность темы диссертационной работы, поэтому должен быть указан в этом разделе.

3. Сложно проводить анализ результатов моделирования, так как на рисунках слишком мелкий цветовой ключ (например, рис. 6 и 7 автореферата или рис. 2.36 диссертации), а также не ясно, как верифицировались данные по реологическим свойствам, внесённые в программный комплекс ABAQUS для исследуемого сплава.

4. На наш взгляд полученные данные моделирования целесообразно было бы представить в виде графических зависимостей, например, зависимости продольных остаточных напряжений от степени деформации (см. рис. 6 автореферата). Тогда закономерности их изменения, отмеченные в п. 2 научной новизны, были бы наглядно подтверждены.

5. Нет обоснования, почему степень деформации при моделировании выбрана именно 3, 6 и 9 %, поэтому необходимо было использовать методики планирования исследований, обосновав уровни варьирования параметров.

В отзыве официального оппонента В.Н. Трофимова:

1. Стр.6 - Цель и задачи лучше было сформулировать в отдельной главе (постановка задачи исследований) после первой главы или отдельном параграфе в конце первой главы после анализа проблемы.

2. Стр.31 – второй абзац сверху – остаточные напряжения могут возникать в «...сплошной однородной изотропной среде». В идеализированной сплошной среде остаточные напряжения не возникают, так как отсутствуют дефекты структуры, например, в виде дислокаций и др. Последний абзац – «...одни слои растягиваются в большей степени...». Не совсем корректное выражение.

3. Стр.32 – первый абзац сверху – «В ОМД принято считать, что растягивающие напряжения оказывают отрицательное (Ремарка - не только в ОМД, но и в машиностроении и металлургии в целом).

4. Стр.33-34 – необходимо было акцентировать внимание на том, что анализ и расчёт остаточных напряжений относится к отдельным проволокам, а не к конструкции в виде каната. Третий и последний абзацы снизу «... измерение напряжений...» - измеряют деформации.

5. Стр. 35 – второй абзац сверху – замечание то же, что и на стр.33-34.

6. Стр.47 (также на стр. 52) – рис.2.10 – «Распределение напряжений Мизеса». Некорректно – правильное «Распределение интенсивности напряжений по критерию Мизеса».

7. Стр. 54 – рисунок 2.15 – почему перевернуты надписи?

8. Стр.55 – «...распределение напряжений и эквивалентных деформаций...», однако указаны только значения интенсивности напряжений.

9. Стр.57 – последний абзац (и рисунки 3.7, 3.8) – используется термин «степень деформации», что эквивалентно термину «интенсивность деформации» или «эквивалентная деформация», которую использует автор. Желательно использовать по тексту один термин.

10. Стр.64 – таблица 2.6 – точность указания прочностных и деформационных свойств проволоки можно снизить.

11. Стр.66 – описание процедуры изменения граничных условий соответствуют рисунку 2.31. В п.5 описания вызывает вопрос принятие условия моментального снятия температурного воздействия (нет его обоснования).

12. Стр.69 – к сожалению, не указаны результаты расчёта остаточных напряжений в периферийных проволоках, напряженно-деформированное состояние которых отличается от напряженно-деформированного состояния центральной проволоки.

13. Стр.74 – таблица 3.1 и др. показывает, что результаты можно представить уравнением регрессии трёхфакторного эксперимента зависимости межпластинчатого расстояния от параметров процесса (скорости движения каната, температуры, усилия натяжения), что, по-моему могло бы также отражать научную новизну работы и её практическую значимость.

14. Стр.84 – первая строчка – вместо термина «потери напряжений» корректнее использовать термин «потери напряжений от релаксации».

15. Стр.87 – таблица 3.4 – приведены результаты определения остаточных напряжений 1 рода, а ранее указано, что определялись напряжения 2 рода?

16. Стр. 96 – рисунок 4.8 не очень понятна причина образования «пятнистого» характера распределения эквивалентных деформаций при обжатиях 3% и 6%. Можно предположить, что это результат деформирования каната при использовании профилирующих роликов для нанесения армирующего периодического профиля, но из описания процесса обжатия и рисунков 4.2 и 4.3 это не следует.

17. Стр. 96 – второй абзац снизу – не указаны единицы измерения остаточных напряжений.

18. Общее замечание: в работе приведены многочисленные результаты экспериментов, но не приведены результаты их статистической обработки с указанием средних значений и дисперсии.

В отзыве официального оппонента В.Ф. Даненко:

1. В диссертации нарушена очередность размещения рисунков (см. рис. 2.15); на стр. 108 имеются неточности при ссылке на позиции рис. 4.23.

2. Приведенные на рис. 2.9 реологические свойства микроструктурных составляющих перлитной стали, используемые в качестве исходных при построении компьютерной модели процесса волочения патентованной заготовки, отличаются по прочностным и деформационным показателям от указанных в качестве источника данных работы [139], в частности, по допустимой деформации цементита. Это должно отразиться на начале процесса дробления цементитных пластин.

3. В главе 2 не объясняется причина изменения приведенного на рис. 2.15 характера распределения продольных остаточных напряжений в сечении проволоки после суммарного обжатия $q_{\Sigma} \geq 82\%$ (например, снижение сжимающих остаточных напряжений на оси проволоки с 1200 до 450 МПа). В главе 3 (стр. 79) это снижение объясняется процессами, происходящими с микроструктурными составляющими перлита, со ссылкой на рис. 3.9, однако конкретные пояснения не приведены.

4. В главе 4 (стр. 92) некорректно назван способ калибрующего пластического обжатия каната. Способ осуществляется не прокаткой, а протяжкой (волочением) через неприводные ролики (тянущее усилие прикладывается к переднему концу каната).

5. В автореферате при описании главы 4 упоминается о формировании в центре каната кольца сжимающих остаточных напряжений. Однако в диссертации ничего не сказано об условиях формирования этого кольца, его влиянии на перераспределение продольных остаточных напряжений по сечению и эксплуатационные свойства каната.

6. В диссертации не сказано о выборе критерия для определения повышения эффективности процесса производства арматурного каната на 3%.

В ходе заседания диссертационного совета:

1. Можно ли применять в рассматриваемом технологическом процессе не патентованную катанку? Можно ли называть прокат 12,0 мм катанкой?

2. Что такое стабилизация? В данном случае данный термин больше является жаргонным словом, что за процесс вы подразумеваете? С какой степенью

натяжения выполняется этот процесс? Какая степень пластического обжатия допускается в этом случае?

3. Как вы оцениваете тенденцию повышения содержания углерода в канатной стали? Можно ли повысить содержание углерода до 1%?

4. В одном из пунктов научной новизны указано «повышение эффективности производства на 3%». Что является критерием для этого повышения?

5. За счет чего возникают остаточные напряжения в вашем случае?

6. Как трактовать численные значения степени натяжения при стабилизации, почему не приводится коэффициент вытяжки для достижения необходимого диаметра проволок?

7. Есть ли в работе описание поведения феррита при деформации перлитных колоний?

8. Насколько обосновано и корректно применение зависимости Холла-Петча в такой форме?

9. Значения расхождения данных на слайде 21 не свидетельствует ли о том, что модель не корректна?

10. По какой методике замеряли межпластинчатое расстояние и толщину цементитных пластин? Каков процесс ошибки замеров?

11. Насколько универсальна ваша методика проектирования? Например, можно ли её применять при усложнении конструкции каната?

12. В каком программном комплексе производилось моделирование? Можно ли в нем замерять уровень напряжений второго и третьего рода?

13. Насколько сложно было подготовить и получить данные для проведения мультимасштабного моделирования? Если возможно, уточните, пожалуйста, поэтапно что для этого необходимо сделать и какой объем микрошлифов был подготовлен.

14. Как будут работать ваши модели, если будет применяться заэвтектоидная сталь с другими структурными составляющими?

15. В чем закономерность распределения остаточных и свивочных напряжений, есть ли какая-нибудь математическая формула или закон? Связаны ли эти закономерности с эволюцией микроструктуры.

16. Поясните смысл термина «возможности» калибрующего пластического обжатия. Имеется ли в виду только качественная оценка данного процесса?

Соискатель Медведева Е.М. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию. Для рассматриваемого технологического процесса производства стабилизированных арматурных канатов применяется только патентованная катанка 12,0 мм, заготовку большего диаметра также может считаться катанкой. Процесс стабилизации представляет собой термомеханическую обработку, то есть высокотемпературный (индукционный) нагрев под натяжением. При этом, для указанного размера каната 12,5 мм применяется сила натяжения в диапазоне от 0,2 до 0,5 от временного сопротивления каната с малыми пластическими деформациями. Для производства арматурных канатов традиционно применяется высокоуглеродистая сталь марки 70 или 80, а дальнейшее увеличение содержания углерода может способствовать чрезмерной нагрузке на инструмент. В качестве критерия повышения эффективности производства рассматривался процент снижения брака по типу «фонарь». Остаточные напряжения являются следствием любой деформации и возникают в любом твёрдом теле, в частности при производстве проволоки с высокими степенями деформации при девятипроходном маршруте волочения. Коэффициент вытяжки применяется в отношении процесса волочения проволоки, в данном случае значения силы натяжения рассматривается в процессе стабилизации каната, в результате которого не происходит изменения диаметра каната. Рукопись диссертации содержит в себе результаты микродеформирования феррита, которые соотносятся с известными литературными данными. Указанная зависимость Холла-Петча взята из англоязычного источника, которая позволяет учитывать угол поворота цементитных пластин и которая была верифицирована указанными авторами. Представленные на слайде значения

дельта показывают процент расхождения значений именно в этих четырех точках, полученных при моделировании и в результате лабораторных исследований, поскольку значения малы, это позволяет нам говорить об адекватности модели. Замеры толщины цементитных пластин и межпластинчатого расстояния производились в ручном режиме программного комплекса Thixomet PRO при анализе до 10 изображений микроструктур, процент ошибки уже заложен в значениях представленных на слайде и составляет менее 30%. Представленная методика проектирования технологических процессов универсальна и будет работать при усложнении конструкции каната, но необходимо будет дополнить новыми моделями. Компьютерное моделирование выполнялось в программном комплексе Abaqus, который позволяет вычислять остаточные напряжения и первого, и второго, и третьего рода. Подготовка исходных материалов для проведения мультимасштабного моделирования занимала около двух дней и включала в себя исследования механических свойств патентованной катанки, исследование микрошлифов в продольном направлении, а также получение кривых текучести для исходных микроструктурных составляющих. При изменении исходной микроструктуры с перлитной на заэвтектоидную модели будут работать, но необходимо внести исходные данные по новым микроструктурным составляющим, в частности отдельно по цементиту, деформируемому при других температурах. Зависимость распределения остаточных и свивочных напряжений довольно сложно представить в виде математической формы в зависимости от степени деформации, поэтому в данной работе был получен градиент распределения остаточных напряжений по сечению проволоки после каждого прохода волочения. При этом, эпюра распределения остаточных напряжений зависит от микромеханики деформирования, в частности при достижении степени деформации свыше 80% наблюдается высокий процент поворота цементитных пластин и их деформация, и в этот же момент происходит резкое снижение уровня остаточных напряжений. В контексте работы оценивалась принципиальная возможность применения процесса калибрующего пластического обжатия с точки зрения влияния степени деформации на изменение остаточных

напряжений и тем самым был выделен рациональный режим калибрующего пластического обжатия, то есть определено рациональное значение параметра процесса.

На заседании 22.03.2022 г. диссертационный совет принял решение за научно-обоснованные технологические разработки по совершенствованию технологии производства стабилизированных арматурных канатов, имеющих существенное значение для предприятий машиностроительного комплекса и внедрение которых вносит значительный вклад в развитие экономики страны, присудить Медведевой Екатерине Михайловне ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов наук по специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 18, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

22.03.2022 г.



Валерий Михайлович Колокольцев

Игорь Юрьевич Мезин