

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

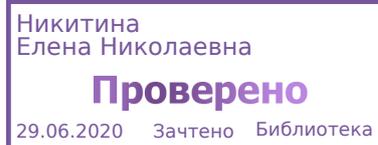
Сапожник Ксения Романовна

**Исследование влияния ультразвукового воздействия
на деформационное упрочнение сталей**

Направление подготовки
22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»

АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

2020



Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

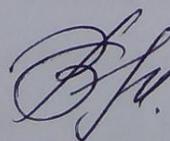
Научный руководитель

доктор технических наук,
доцент Башков Олег Викторович

Защита состоится «30» июня 2020 года в 9 часов 00 минут на заседании государственной аттестационной комиссии по направлению подготовки «Материаловедение и технологии новых материалов» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 202/2.

Автореферат разослан 22 июня 2020 г.

Секретарь ГЭК



И. В. Белова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Для обеспечения работоспособности промышленных установок и приборов при их изготовлении необходимо использовать материалы, которые будут обладать высокой конструкционной прочностью (комплексом свойств – прочностью, надежностью, долговечностью). Когда традиционные способы повышения технических характеристик материалов путем эмпирического подбора легирующих элементов и использования различных способов термической и термомеханической обработки практически исчерпали себя, использование альтернативных источников энергии открывает значительные перспективы в области получения конструкционных материалов с уникально высокими свойствами.

Особенности воздействия ультразвуковых колебаний на материал, недостижимые традиционными методами обработки (уменьшение внутренних напряжений без разупрочняющего нагрева, деформационное изменение структуры материала без изменения размеров), позволили использовать их для обработки высокопрочных, хрупких материалов, повысить качество изделий и точности их обработки, чистоту поверхности и т. д.

На сегодняшний день большое количество научных работ посвящено исследованию ультразвуковой поверхностной обработки, одним из результатов которой выступает создание упрочненного поверхностного слоя, в то время как схемы обработки, в которых образец подвергается переменным нагрузкам растяжения-сжатия во всем объеме материала остаются без должного внимания. Однако пластическое деформирование исключительно поверхностных слоев приводит к возникновению остаточных напряжений, что может инициировать возникновение трещин на границе раздела «упрочненный – неупрочненный слой», потому область исследований характера объемной ультразвуковой обработки с целью деформационного упрочнения материалов представляется еще более перспективной.

Цель работы. Оценка влияния входных параметров упрочняющей объемной ультразвуковой обработки на структурные изменения стали 45.

Задачи исследования:

- 1) анализ имеющихся данных о механизмах и явлениях, лежащих в основе влияния ультразвука на структуру материалов;
- 2) оценка достоинств и недостатков имеющихся схем ультразвуковой обработки;
- 3) разработка методики вычисления параметров формы концентраторов, необходимых для расчета распределений амплитуд смещений и напряжений по сечению;
- 4) моделирование оптимальных компонентов ультразвуковой колебательной системы для обеспечения упрочняющей ультразвуковой обработки;
- 5) построение гипотез о возможном влиянии входных параметров ультразвуковой обработки на сталь 45 в заданных условиях.

Объект исследования. Процесс ультразвуковой упрочняющей обработки.

Предмет исследования. Структурные изменения в сталях при деформационной упрочняющей обработке.

Методы исследования. Для решения поставленных задач применялись методы численного анализа в пакете прикладных программ MatLab и методы визуального моделирования программно-инженерного комплекса прочностных расчетов Abaqus.

Научная новизна работы:

- 1) подробно описан алгоритм вычисления параметров формы для расчета амплитуд напряжений и смещений по сечению концентраторов и образцов;
- 2) впервые получена модель ультразвукового концентратора, обеспечивающего усиления ультразвуковых колебаний до 6 раз;

3) предложена ранее не описанная форма двухампульного образца, обеспечивающая равномерность распределения амплитуд напряжений и смещений по сечению.

Достоверность и обоснованность результатов исследования. Достоверность полученных и представленных в диссертации результатов подтверждается использованием современных независимых взаимодополняющих методов исследования, обеспечивающих согласованность предполагаемых результатов с проведенными экспериментальными исследованиями.

Практическая значимость работы. Описанные методики проводимого исследования могут быть применены при создании ультразвуковых колебательных систем различного назначения. Предлагаемые к рассмотрению результаты открывают новые возможности в упрочняющей обработке материалов, обеспечивая сокращение временных и энергетических затрат посредством использования акустической энергии.

Личный вклад автора состоит в разработке методики вычисления параметров распределения ультразвукового фронта по сечению материала, проведении визуального моделирования различных форм концентраторов и образцов, обработке, анализе, обобщении полученных результатов и формулировке выводов.

Основные положения работы, выносимые на защиту:

- 1) Результаты численного моделирования ультразвуковых концентраторов и образцов;
- 2) Результаты визуального моделирования распределения интенсивности напряжений и картин упругого смещения материала по сечению концентраторов и образцов;
- 3) Выявленные закономерности влияния ультразвуковых входных параметров на структурные изменения стали 45.

Структура и объем работы. Работа включает введение, аналитический обзор, методическую часть и результаты теоретических и экспериментальных исследований. Работа содержит 87 страниц, 3 раздела, основные вы-

воды, включает 15 рисунков, 8 таблиц и список использованных источников из 21 наименования.

Апробация результатов работы. Результаты диссертационной работы были представлены на:

1) II Всерос. нац. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 08-12 апреля 2019 г.;

2) Междунар. науч.-практ. конф., Комсомольск-на-Амуре, 14 июня 2019 года;

3) XXV Хабаровском краевом открытом фестивале «Студенческая весна – 2019», Хабаровск, 02.04.2019г.;

4) XXVI Хабаровском краевом открытом фестивале «Студенческая весна – 2020», Комсомольск-на-Амуре, 03.03.2020г.

Публикации.

1 K. R. Sapozhnik, O. V. Bashkov, M. D. Borisenko, D. B. Solovev Modeling of Ultrasonic Concentrators for Processing of Volume Nanostructured Materials // Materials Science Forum, 2020, No. 992, pp. 940-946, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.992.940>.

2 К. Р. Сапожник, О. В. Башков, М. Д. Борисенко Моделирование ультразвуковых концентраторов для обработки объемных наноструктурированных материалов // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Комсомольск-на-Амуре, 2019. – С. 259-264;

3 М. Д. Борисенко, К. Р. Сапожник, О. В. Башков Перспективы использования ультразвуковой обработки для снятия внутренних механических напряжений в наноструктурированных материалах // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : материалы II Всерос. нац. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, 2019. – Ч. 1. – С. 39-41;

4 К. Р. Сапожник, М. Д. Борисенко, О. В. Башков Объемная ультразвуковая обработка наноструктурированных материалов // Молодежь и наука:

актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : материалы II Всерос. нац. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 2019 г. – Ч. 1. – С. 168-172.

Структура и объем работы. Диссертация включает введение, 3 главы, заключение, список использованных источников; изложена на 87 страницах, включает 39 рисунков, 7 таблиц. Список литературы содержит 109 источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования диссертации, сформулирована цель работы и определены основные задачи исследования, отмечена научная новизна.

В первой главе проанализированы и структурированы данные о существующих методах упрочняющей обработки, их достоинствах и недостатках. Подробно рассмотрены результаты исследований отечественных и зарубежных авторов, их гипотезы и подходы к описанию механизмов и явлений, лежащих в основе структурных изменений стальных изделий. Приведены теории, получившие наиболее полное экспериментальное подтверждение и освящены вопросы, которые на сегодняшний день требуют более тщательного изучения.

Во второй главе описаны методики и подходы, позволяющие усовершенствовать ультразвуковую колебательную систему, что приводит к обеспечению оптимального проведения технологии ультразвуковой упрочняющей обработки. Обоснован выбор материала, подвергаемого ультразвуковому воздействию в новых условиях, а также особенности проведения экспериментального исследования.

В третьей главе на основании результатов численного и визуального моделирования распределения интенсивности напряжений и смещений по сечению материала с использованием современных прикладных программ

выявлены оптимальные составляющие ультразвуковой колебательной системы. В зависимости от назначения обработки рекомендованы формы обрабатываемых образцов. Проанализированы экспериментальные данные, позволившие сделать выводы о влиянии входных параметров (амплитуды и частоты ультразвука, а также длительности и температуры обработки) на конечную структуру обработанного материала.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Традиционные способы повышения технических характеристик металлов путем подбора легирующих элементов и термомеханической обработки практически исчерпали себя. Это вынуждает искать новые методы получения материалов с высокой конструкционной прочностью, которые позволят существенно сократить временные, экономические и энергетические затраты технологического процесса.

Одним из таких методов может выступать ультразвуковая объемная обработка, представляющая собой высокочастотное знакопеременное воздействие, в процессе которой осуществляется как снятие внутренних напряжений, так и упрочнение материала в зависимости от его исходной структуры.

Существует несколько схем ультразвуковой обработки, которые выбираются исходя из условий проведения эксперимента. Ультразвуковая поверхностная или финишная обработка достаточно хорошо изучена. Она обеспечивает поверхностное упрочнение материалов в частности за счет создания наноструктурированного слоя колеблющимся с ультразвуковой частотой индентором. Однако пластическое формоизменение только поверхностных слоев в отдельных случаях не только недостаточно, но и может приводить к возникновению трещин на границе раздела «упрочненный – неупрочненный слой», поэтому целесообразно изучать схемы воздействия, при которых влияние ультразвука осуществляется во всем объеме образца.

Выбранная для исследования схема ультразвуковой колебательной системы осуществляет подведение ультразвука через непосредственный контакт с металлическим концентратором.

В силу того, что упрочнение материала ожидается при максимально возможных значениях амплитуд, возникает необходимость в модернизации ультразвуковой колебательной системы (УЗКС) с целью достижения максимального коэффициента усиления колебаний без риска преждевременного разрушения конструкции.

В результате проведенного анализа и моделирования получены оптимальные составляющие УЗКС.

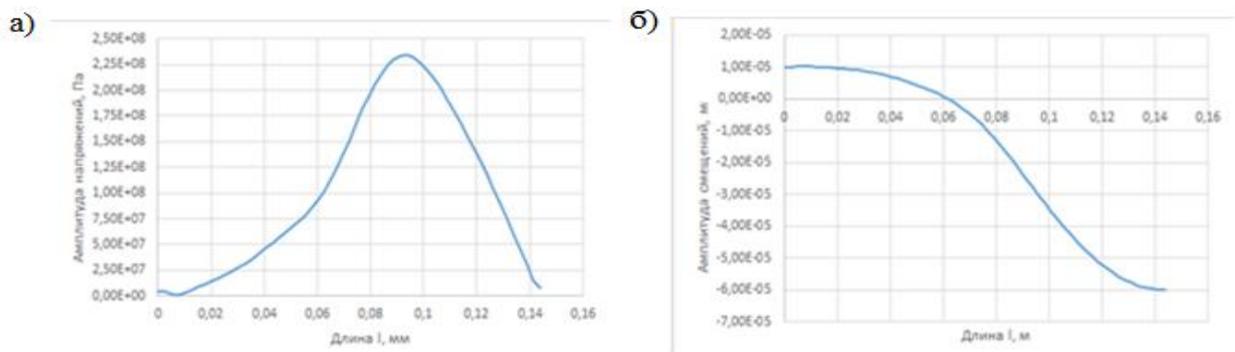


Рисунок 1 - Распределение амплитуд в оптимальном концентраторе:
а) напряжений; б) смещений

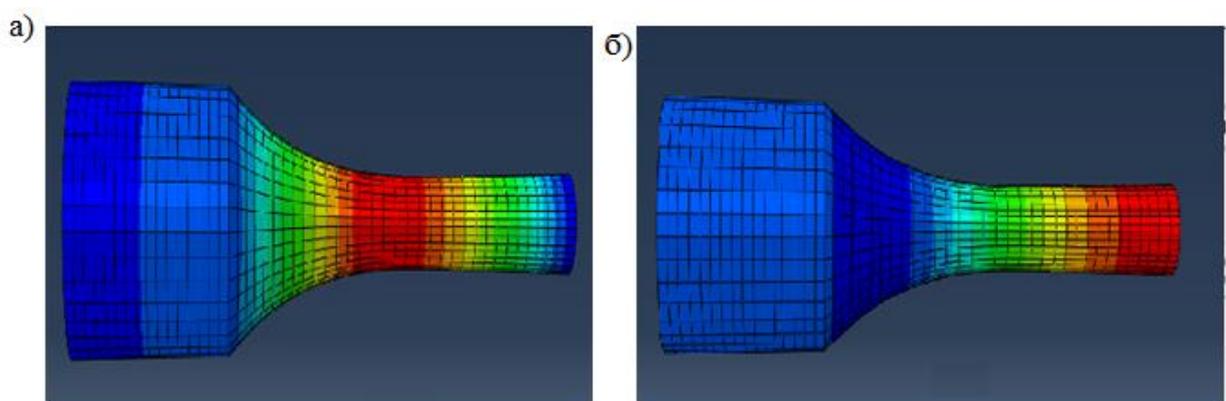


Рисунок 2 - Картины: а) распределения интенсивности напряжений;
б) упругого смещения материала

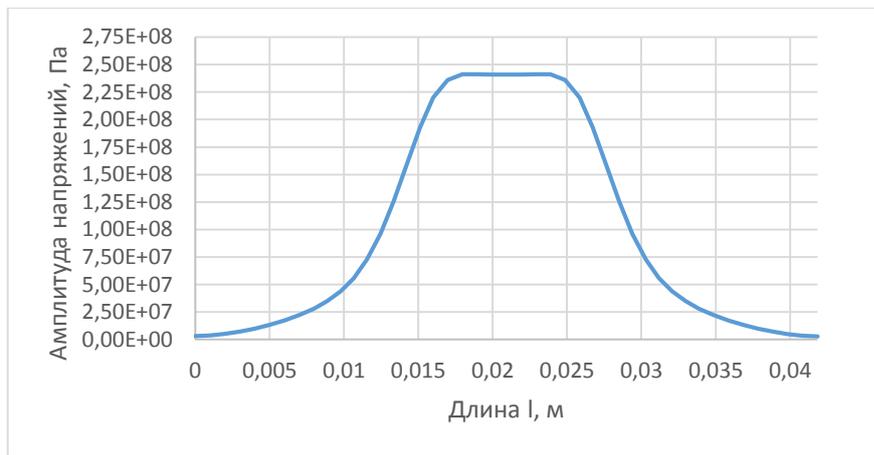


Рисунок 3 - Распределение амплитуд напряжений в образце

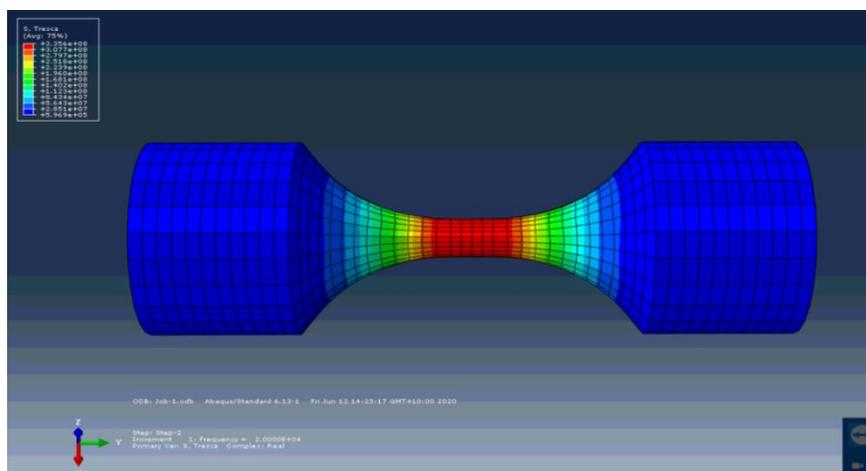


Рисунок 4 – Картины распределения интенсивности напряжений в образце

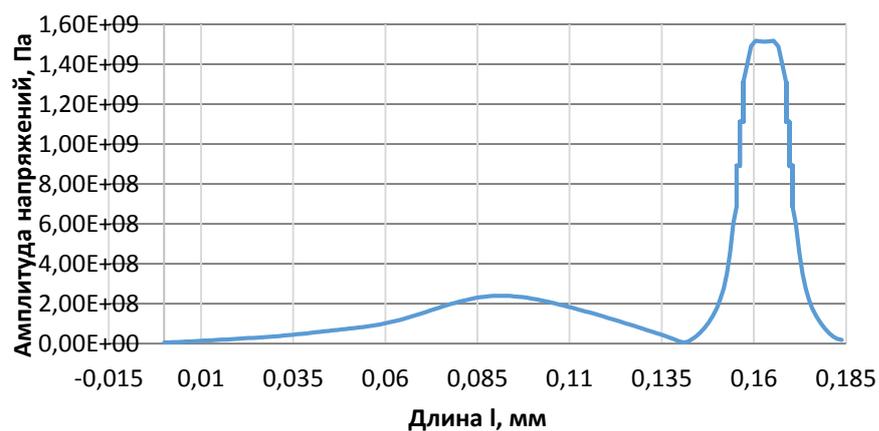


Рисунок 5 - Распределение амплитуд напряжений в системе «Концентратор - Гантелевидный образец»

Полученный концентратор обеспечивает коэффициент усиления амплитуды в 6 раз, при этом в образце при работе ультразвуковой колебательной системы создается напряжение в 1100 МПа (при входном амплитуде напряжений 10 мкм). В отличие от двухампульного образца, обеспечивающего меньшие значения напряжений в 10 раз, применение данной формы более целесообразно для деформационной ультразвуковой упрочняющей обработки.

Относительно влияния входных параметров на процесс УЗО стоит отметить следующие особенности:

- 1) увеличение твердости прямо пропорционально величине прикладываемых амплитуд и частот колебаний;
- 2) скорость упрочнения определяется продолжительностью инкубационного периода и коэффициентом полезного действия обработки;
- 3) ультразвуковое влияние наиболее эффективно при небольшой продолжительности воздействия – до 10 мин при комнатной температуре.