

**УТВЕРЖДАЮ**



Ректор ФГБОУ ВО «Иркутский  
национальный исследовательский  
технический университет»,  
доктор технических наук

М.В. Корняков

«20» февраля 2020 г.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Иркутский национальный исследовательский технический университет»**

Диссертация «**Повышение качества выправленных нежестких цилиндрических деталей поверхностным пластическим деформированием**» выполнена на кафедре машиностроительных технологий и материалов.

В 2015 году Лэ Хонг Куанг с отличием окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» по направлению 220700 «Автоматизированное управление жизненным циклом продукции». Выпускник магистратуры 2017 года по специальности 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств». По дисциплинам учебных программ средний балл 5,0.

За период подготовки диссертации соискатель Лэ Хонг Куанг обучался в аспирантуре (очная форма) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов по истории и философии науки и иностранному языку выдано в 2018 году, справка о сдаче кандидатского экзамена по специальности – в 2020 году Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет».

Научный руководитель – Зайдес Семен Азикович, заслуженный работник высшей школы РФ, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», заведующий кафедрой машиностроительных технологий и материалов.

**На заседании по рассмотрению и обсуждению диссертационной работы присутствовали:**

От кафедры машиностроительных технологий и материалов:

1. Зайдес Семен Азикович – д.т.н., профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, заведующий кафедрой;
2. Вулых Николай Валерьевич – к.т.н., доцент;
3. Рыжиков Игорь Николаевич – к.т.н., доцент;
4. Тютрин Николай Орестович – к.т.н., доцент;
5. Саламатов Виктор Иванович – к.т.н., доцент;
6. Гусева Елена Александровна – к.т.н., доцент;
7. Астафьева Наталья Анатольевна – к.т.н., доцент;
8. Константинова Мария Васильевна – к.х.н., доцент;
9. Гречнева Мария Васильевна – к.т.н., доцент;
10. Нгуен Ван Чьеу – аспирант кафедры МТМ;
11. Фам Ван Ань – аспирант кафедры МТМ;

От кафедры «Технология и оборудование машиностроительных производств»:

12. Кольцов Владимир Петрович – д.т.н., профессор;
13. Свинин Валерий Михайлович – д.т.н., профессор;
14. Журавлев Диомид Алексеевич – д.т.н., профессор;
15. Пономарев Борис Борисович – д.т.н., профессор;
16. Гайсин Сергей Николаевич – заведующий учебными лабораториями;

От кафедры «Конструирование и стандартизация в машиностроении»:

17. Димов Юрий Владимирович – д.т.н., профессор, член корр. САН ВШ;

### **По итогам обсуждения принято следующее заключение:**

Представленная Лэ Хонг Куангом диссертация обобщает самостоятельные исследования автора и является завершенным научным трудом, выполненным по специальности 05.02.08 – «Технология машиностроения».

**Актуальность темы диссертационного исследования.** Тема, выбранная аспирантом для исследования, является актуальной, так как направлена на повышения качества выправленных нежестких цилиндрических деталей типа валов и осей поверхностным пластическим деформированием (ППД), основанным на поперечной обкатке заготовок гладкими плитами.

При изготовлении, ремонте, эксплуатации, а в некоторых случаях и при хранении таких деталей образуются разные виды остаточных напряжений. Поэтому геометрические параметры и формы цилиндрических деталей изменяются, то есть они искривляются. Особенно это касается нежестких деталей, у которых длина превышает диаметр в 20 и более раз. До настоящего времени не существует общего решения этой проблемы и продолжают поиски эффективных технологических методов для стабилизации геометрических параметров и одновременного снятия остаточных напряжений или формирования равновесных остаточных напряжений в процессе изготовления нежестких цилиндрических деталей. При проведении восстановительных операций во время ремонта (например,

при наплавке шеек) из-за значительных термических напряжений происходит коробление валов. Поэтому при ремонте и восстановлении нежестких деталей применяют неоднократные операции правки для достижения их заданной геометрической формы.

Вторым важным моментом технологии правки деталей является обеспечение стабильности геометрических размеров и формы. При нарушении равновесия технологических остаточных напряжений детали искривляются и после операций правки. Холодная правка валов на прессах, которая достаточно давно применяется на практике, не дает должного эффекта, так как внутренние напряжения не удается полностью устранить, и они заново распределяются, причем временно, и последующее искривление таких изделий неизбежно. Холодная правка на прессах отрицательно влияет на эксплуатационные показатели качества деталей машин. Поэтому для ответственных деталей холодная правка на прессах категорически запрещена, о чем делается соответствующая запись в технических условиях на изготовление деталей.

И третьим немаловажным вопросом технологии изготовления и ремонта деталей является обеспечение качественного состояния поверхностного слоя. Именно внешний слой деталей находится в контакте с ответной деталью или в контакте с окружающей средой, именно в этом слое возникает концентрация напряжений, происходят процессы усталостного нагружения, контактного разрушения и другие виды повреждений. Для решения указанных задач наиболее перспективными являются методы правки деталей поверхностным пластическим деформированием (ППД). Они позволяют решить одновременно ряд задач: провести собственно правку детали, снизить шероховатость поверхности и упрочнить поверхностный слой.

**Целью работы Лэ Хонг Куанга** является разработка технологии поверхностного пластического деформирования обеспечивающей геометрическую стабильность и качество поверхностного слоя нежестких цилиндрических деталей после правки поперечным изгибом.

#### **Основные научные результаты и их новизна:**

На основании проведенных исследований были получены следующие научные и практические результаты:

1. Разработан способ ППД выправленных цилиндрических деталей, основанный на поперечной обкатке гладкими плитами, позволяющий обеспечить формирование равновесных остаточных напряжений и повысить геометрическую стабильность деталей. Способ защищен патентами РФ (№ 2685826 и № 2686963).

2. Разработана геометрическая модель процесса ППД и использован математический аппарат, основанный на законах теории упругопластического течения твердого тела, позволяющие определить основные параметры ППД, напряженное состояние, зоны распределения пластической деформации и остаточные напряжения в деталях после поперечной обкатки гладкими плитами. Установлены условия выполнения процесса ППД: интервал углов клиновых участков рабочих плит (от  $2^\circ$  до  $8^\circ$ ) и диапазон степени относительного обжатия  $Q$  ( $0 < Q < 4,3\%$ ). Полученные режимы обеспечивают реализацию процесса поперечной обкатки без про-



скальзывания в зоне обработки и формирование растягивающих напряжений, исключающих разрушение центральной зоны цилиндрических деталей.

3. Результаты конечно-элементного моделирования и экспериментальных исследований показали, что после правки поперечным изгибом формируются неравновесные остаточные напряжения по всему объему заготовки. После поперечной обкатки гладкими плитами формируются равновесные остаточные напряжения, как по длине, так и по поперечному сечению заготовки. Полученные результаты подтверждают техническую идею работы по повышению геометрической стабильности цилиндрических деталей за счет формирования равновесных остаточных напряжений в объеме тела.

4. Проведены экспериментальные исследования по оценке качества выправленных деталей после ППД. Так, при выправлении цилиндрических деталей из стали 45 с величиной степени относительного обжатия  $Q = 1,5\%$  получено: максимальное отклонение от круглости снижается на 39%, максимальный остаточный прогиб практически был полностью устранен (на 98,8%), параметр шероховатости  $R_a$  снижается в 16 раз, микротвердость на поверхностной детали повышается на 34%, формируются равновесные сжимающие тангенциальные (-298 МПа) и осевые остаточные напряжения (-270 МПа) в поверхностных слоях. Таким образом, разработанный способ ППД позволяет обеспечить не только высокую геометрическую точность цилиндрических деталей, стабильность формы и размеров, но и высокое качество поверхностного слоя.

5. Выполнено сопоставление геометрической стабильности нежестких цилиндрических деталей после правки ППД гладкими плитами, упругопластическим изгибом и растяжением. У образцов, подвергнутых правке и последующей обкатке гладкими плитами, отклонение от прямолинейности оси валов ( $f_0$ ) составило в среднем 15 мкм, у образцов после правки растяжением  $f_0 = 98$  мкм, а после правки образцов упругопластическим изгибом  $f_0 = 283$  мкм. Таким образом, экспериментально доказано, что при правке изгибом с последующей поперечной обкаткой гладкими плитами геометрическая стабильность цилиндрических деталей значительно выше, чем при правке упругопластическим изгибом или растяжением.

6. Установлены рациональные параметры процесса ППД поперечной обкаткой гладкими плитами нежестких цилиндрических деталей после правки изгибом: коэффициент изгиба находится в интервале 5,3-5,5 (при  $l/L = 0,7$ ); значения степени относительного обжатия  $Q$  находятся в диапазоне 0,7-2,5%; число оборотов заготовки составляет от 3 до 5; шероховатость рабочих плит находится в диапазоне  $R_a = 0,08-0,16$  мкм; скорость поперечной обкатки составляет 0,5-5 м/мин и не рекомендуется использовать технологическую смазку при ППД. Полученные параметры и режимы ППД рекомендуются к использованию в заводских условиях.

7. Экспериментально установлено, что максимальная износостойкость наблюдается у деталей после ППД гладкими плитами, а минимальная – у деталей, после правки упругопластическим изгибом. Износостойкость деталей после ППД гладкими плитами увеличивается почти в 2 раза, что повышает ресурс технических изделий.

8. Спроектировано и изготовлено опытно-промышленное технологическое оснащение для ППД нежестких цилиндрических деталей после правки изгибом.

Разработан автоматизированный комплекс, позволяющий повысить производительность технологических операций и качество деталей машин. Устройство защищено патентом РФ (№2696988).

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Доказано, что новый способ ППД выправленных нежестких цилиндрических деталей гладкими плитами, приводит к снижению неравномерности напряженного состояния, обеспечивает геометрическую стабильность и повышает качество деталей (п. 2 и 7 паспорта специальности 05.02.08).

2. Получены математические зависимости для аналитических расчетов основных параметров ППД выправленных цилиндрических деталей и определения напряженного состояния в очаге деформации и в готовых изделиях (п. 3 паспорта специальности 05.02.08).

3. Разработана конечно-элементная модель процесса ППД гладкими плитами для определения напряженно-деформированного состояния выправленных цилиндрических деталей. Установлено влияние основных параметров процесса ППД на напряженное состояние деталей (п. 3 паспорта специальности 05.02.08).

4. На основании экспериментальных исследований и численных расчетов установлено влияние основных параметров и режимов процесса ППД на качество поверхностного слоя и геометрическую стабильность цилиндрических деталей (п. 4 паспорта специальности 05.02.08).

**Конкретное личное участие автора в получении результатов научных исследований, изложенных в диссертации.** Предложена технология ППД выправленных нежестких цилиндрических деталей поперечной обкаткой гладкими плитами, реализована методика оценки напряженно-деформированного состояния цилиндрических деталей после поперечной обкаткой гладкими плитами в зависимости от параметров процесса, проведены экспериментальные исследования, выполнен анализ, обработка и интерпретация полученных результатов, сформулированы основные результаты в виде публикаций, научных докладов и рукописи диссертации.

**Достоверность результатов** обеспечена обоснованным изучением достаточного объема научной литературы, использованием современных средств и методик проведения исследований, и подтверждается согласованностью теоретических выводов и данными моделирования с результатами их реальной экспериментальной проверки.

#### **Практическая значимость:**

1. Разработана технология ППД выправленных цилиндрических деталей, обеспечивающая равномерные остаточные напряженные состояния путем поперечной обкаткой гладкими плитами. Определены оптимальные режимы ППД, обеспечивающие получение стабильных по геометрии выправленных цилиндрических деталей типа валов и осей с высоким качеством поверхностного слоя.

2. Спроектирована и изготовлена экспериментальная установка для поверхностного пластического деформирования нежестких цилиндрических деталей поперечной обкаткой гладкими плитами. Для заготовительного производства предложены конструктивные решения снижающие неравномерность

напряженного состояния при выправлении поперечным изгибом цилиндрических заготовок. Для механообрабатывающих производств предложена новая технология отделочно-упрочняющей обработки нежестких цилиндрических деталей выправленных поперечным изгибом. Для изготовления деталей в условиях крупносерийного производства предложен автоматизированный комплекс, обеспечивающий сортировку, поверхностное пластическое деформирование и контроль геометрических параметров цилиндрических деталей.

3. Результаты диссертационного исследования рекомендуются использовать в учебном процессе при проведении занятий по дисциплинам «Технология машиностроения» и «Технология конструкционных материалов», а также аспирантами и научными работниками, занимающиеся вопросами ППД нежестких деталей типа валов и осей.

**Внедрение научных результатов.** Результаты диссертационного исследования по теме «**Повышение качества выправленных нежестких цилиндрических деталей поверхностным пластическим деформированием**» выполненного на кафедре машиностроительных технологий и материалов внедрены в учебном процессе по направлению 15.03.01 – Машиностроение на основании решения кафедры (протокол № 3 от 05.11.2019 г.)

Результаты исследования включены в учебные курсы «Технология конструкционных материалов» и «Технология машиностроения». Разработана и изготовлена экспериментальная установка для выполнения лабораторных работ по ППД выправленных нежестких цилиндрических деталей поверхностным пластическим деформированием, основанном на поперечной обкатке заготовки гладкими плитами.

Для учебных курсов «Технология машиностроения» и «Технология конструкционных материалов» подготовлен лекционный материал, демонстрирующий новые технологические возможности ППД поперечной обкаткой гладкими плитами для стабилизации, повышения качества и эксплуатационных характеристик мало жестких цилиндрических деталей.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности 05.02.08 – «Технология машиностроения».**

Диссертация соответствует пунктам области исследования №2 (Технологические процессы, операции, установы, позиции, технологические переходы и рабочие хода, обеспечивающие повышение качества изделий и снижение их себестоимости), №3 (Математическое моделирование технологических процессов и методов изготовления деталей и сборки изделий машиностроения), №4 (Совершенствование существующих и разработка новых методов обработки и сборки с целью повышения качества изделий машиностроения и снижения себестоимости их выпуска), №7 (Технологическое обеспечение и повышение качества поверхностного слоя, точности и долговечности деталей машин).

#### **Полнота изложения диссертации в работах, опубликованных автором**

Основные результаты диссертационной работы полностью отражены в следующих научных работах автора:

*Статья в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ:*

1. Зайдес С.А., **Лэ Хонг Куанг**. Аналитический расчет основных параметров процесса правки маложестких цилиндрических деталей поперечной обкаткой плоскими плитами // Вестник ИрГТУ. – 2018. – Т. 22. – № 3. – С. 24-34.

2. **Лэ Хонг Куанг**, Зайдес С.А. Аналитическое определение напряженного состояния цилиндрических деталей при поперечной обкатке плоскими плитами // Вестник ИрГТУ. – 2018. – Т. 22. – № 9. – С. 50-66.

3. Зайдес С.А., **Лэ Хонг Куанг**. Оценка напряженного состояния цилиндрических деталей при поперечной правке. Технология металлов. – 2019. – №2. – С. 18-22.

4. Зайдес С.А., **Лэ Хонг Куанг**. Стабилизированная правка цилиндрических деталей поперечной обкаткой плоскими плитами. Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2019. – №8. – С. 3-9.

5. Зайдес С.А., **Лэ Хонг Куанг**. Определение качества поверхностного слоя маложестких цилиндрических изделий после правки поперечной обкаткой гладкими плитами. Известия Вузов. Машиностроение. – 2019. – №12. – С. 5-13.

6. Зайдес С.А., **Лэ Хонг Куанг**. Влияние основных параметров процесса правки поперечной обкаткой гладкими плитами на качество цилиндрических деталей. Технология металлов. – 2020. – №2. – С. 37-44.

7. Зайдес С.А., **Лэ Хонг Куанг**. Оценка качества правки цилиндрических деталей поперечной обкаткой гладкими плитами. Вестник машиностроения. – 2020. – №6. – С. 72-76.

*В международных изданиях, включенных в международную базу Scopus:*

8. S. A. Zaides and **Le Hong Quang**. Straightening of Relatively Flexible Cylindrical Parts. Part I. Establishing the Loading Conditions in Transverse Straightening. Steel in Translation. – 2019. – Vol. 49. – No. 7. – Pp. 440-446.

9. S. A. Zaides and **Le Hong Quang**. Straightening of Relatively Flexible Cylindrical Parts. Part II. Stress State of the Cylinder Workpiece in Transverse Rolling between Flat Plates. Steel in Translation. – 2019. – Vol. 49. – No. 9. – Pp. 581-586.

10. S. A. Zaides and **Le Hong Quang**. State of Stress in Cylindrical Parts during Transverse Straightening. Russian Metallurgy (Metally). – Vol. 2019. – No. 13. – Pp. 1487-1491.

11. Semen Zaides, **Le Hong Quang**, Nikolai Bobrovskij and Pavel Melnikov. Automated complex for stabilized straightening of low-stiff cylindrical parts. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 537 (2019) 022078

12. Alexander Metel, Semen Zaides, Nikolaj Bobrovskij, Fam Dak Fong, Olesja Levitskih, **Le Hong Quang** and Aleksey Lukyanov. Evaluation of microgeometry of cylindrical parts after cross-rolling in smooth plates. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 315 (2019) 062027

13. Anna Okunkova, Semen Zaides, Nikolaj Bobrovskij, **Le Hong Quang**, Khudobin Leonid, Olesja Levitskih and Nicolay Nosov. Modeling the process of straightening low-stiff cylindrical parts by cross-rolling with smooth plates. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 315 (2019) 062025

14. Marina Zykova, Semen Zaides, Nikolaj Bobrovskij, **Le Hong Quang**, Olesja Levitskih, Salov Petr and Aleksey Lukyanov. Calculating the process of straightening

low-stiff cylindrical parts by cross-rolling with smooth plates. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 315 (2019) 052044

15. S A Zaides and **L Kh Kuang**. Improving the quality of aircraft fasteners by transverse running with flat plates. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 632 (2019) 012115

**Монография:**

16. Зайдес С.А., Емельянов В.Н., Мураткин Г.В., **Лэ Хонг Куанг**. Правка валов поверхностным пластическим деформированием: монография. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2020. – 439 с.

**Патенты:**

17. Патент № 2685826, Российская Федерация, МПК-B21D 3/16. Способ правки маложестких цилиндрических деталей / Зайдес С.А., **Лэ Хонг Куанг**. № 2018117414; заявл. 10.05.2018, опубл. 23.04.2019. Бюл. № 12.

18. Патент № 2686963, Российская Федерация, МПК-B21D 9/04. Способ правки цилиндрических деталей / Зайдес С.А., **Лэ Хонг Куанг**. № 2018121267; заявл. 08.06.2018, опубл. 06.05.2019. Бюл. № 13.

19. Патент № 2696988, Российская Федерация, МПК-B21D 3/00. Устройство для правки нежестких цилиндрических деталей гладкими плитами / Зайдес С.А., **Лэ Хонг Куанг**. № 2019109584; заявл. 02.04.2019, опубл. 08.08.2019. Бюл. № 22.

**В прочих изданиях:**

20. Зайдес С.А., **Лэ Хонг Куанг**. Методы определения остаточного напряженного состояния при правке маложестких цилиндрических деталей поперечным изгибом // Жизненный цикл конструкционных материалов (от получения до утилизации): материалы докл. VIII Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ. – 2018. – С. 140-147.

21. Зайдес С.А., **Лэ Хонг Куанг**. Определение зоны пластической деформации маложестких цилиндрических деталей при поперечной обкатке плоскими плитами // Инновационные технологии в металлообработке: сб. трудов I Междунар. науч.-практ. конф. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2018. – С. 11-16.

22. **Лэ Хонг Куанг**, С.А. Зайдес, Нгуен Ван Кань. Разработка эффективного способа правки маложестких цилиндрических деталей// Жизненный цикл конструкционных материалов (от получения до утилизации): материалы докл. VIII Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2019. – С. 7-14.

23. Зайдес С.А., **Лэ Хонг Куанг**. Определение напряженного состояния после правки маложестких цилиндрических деталей поперечным изгибом. В сборнике: Техничко-экономические проблемы развития регионов материалы научно-практической конференции с международным участием. – 2019. – С. 38-41.

24. Зайдес С.А., **Лэ Хонг Куанг**. Оценка качества нежестких деталей транспортной техники после правки поперечной обкаткой гладкими плитами. // XI-я Международная научно-техническая конференция САМИТ-2019. – С. 90-94.



Диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным в п. 9 «Положение о порядке присуждения ученых степеней».

Диссертация **Лэ Хонг Куанг** на тему **«Повышение качества выправленных нежестких цилиндрических деталей поверхностным пластическим деформированием»** рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – «Технология машиностроения».

Заключение принято на расширенном заседании кафедры машиностроительных технологий и материалов.

Результаты голосования: «за» – 17 чел., «против» – 0 чел, «воздержалось» – 0 чел, протокол № 7 от 18 февраля 2020 г.

Председатель расширенного заседания,

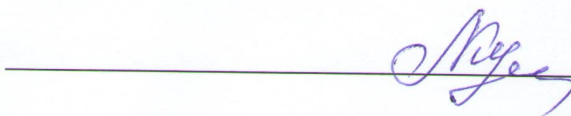
д.т.н., профессор,

заведующий кафедрой МТМ



С.А. Зайдес

Секретарь кафедры



Л.Е. Кулакова