



УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО «Иркутский
национальный исследовательский
технический университет»,

М.В. Корняков

«19» 09 2023г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет»

Диссертация Нгуен Хыу Хай «Повышение эффективности упрочнения цилиндрических деталей машин реверсивным выглаживанием» выполнена на кафедре материаловедения, сварочных и аддитивных технологий ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет».

В 2018 г. Нгуен Хыу Хай с отличием окончил Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации г. Воронеж по специальности 24.05.05 «Интегрированные системы летательных аппаратов».

В 2020 г. поступил на обучение в очную аспирантуру ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» на кафедру машиностроительных технологий и материалов (материаловедения, сварочных и аддитивных технологий).

Справка о сдаче кандидатских экзаменов по иностранному языку, истории и философии науки, психологии в высшей школе и по специальности 2.5.6. Технология машиностроения выдана ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» в 2023 году.

Научный руководитель – Зайдес Семен Азикович, заслуженный работник высшей школы РФ, доктор технических наук, профессор кафедры материаловедения, сварочных и аддитивных технологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет»

На объединенном заседании кафедр института АМиТ присутствовали:

Кафедра материаловедения, сварочных и аддитивных технологий:

1. Балановский Андрей Евгеньевич – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой;
2. Зайдес Семен Азикович – д.т.н., профессор;
3. Вулых Николай Валерьевич – к.т.н., доцент;
4. Рыжиков Игорь Николаевич – к.т.н., доцент;
5. Тютрин Николай Орестович – к.т.н., доцент;
6. Саламатов Виктор Иванович – к.т.н., доцент;
7. Гусева Елена Александровна – к.т.н., доцент;

8. Астафьева Наталья Анатольевна – к.т.н., доцент;
9. Константинова Мария Васильевна – к.х.н., доцент;
10. Гречнева Мария Васильевна – к.т.н., доцент;
11. Нгуен Ван Винь – аспирант;
12. Хо Минь Куан – аспирант.

Кафедра «Технология и оборудование машиностроительных производств»:

13. Кольцов Владимир Петрович – д.т.н., профессор;
14. Журавлев Диомид Алексеевич – д.т.н., профессор;
15. Свинин Валерий Михайлович – д.т.н., профессор;
16. Пашков Андрей Евгеньевич – д.т.н., профессор;
17. Пономарев Борис Борисович – д.т.н., профессор;

Кафедра «Конструирования и стандартизации в машиностроении»:

18. Димов Юрий Владимирович – д.т.н., профессор.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Представленная диссертация Нгуен Хыу Хай обобщает самостоятельные исследования автора и является завершенным научным трудом, выполненным по специальности 2.5.6. Технология машиностроения.

Актуальность темы и цель диссертационного исследования. Важнейшей задачей современного машиностроения является повышение качества выпускаемых изделий, которое во многом зависит от состояния поверхностного слоя и эксплуатационных свойств отдельных деталей. При изготовлении и при отделочно-упрочняющей обработке цилиндрических деталей и особенно деталей малой жесткости достаточно сложно получить заданную форму, размеры и стабильное состояние поверхностного слоя по длине заготовки. Для решения данной проблемы предлагается увеличить напряженное состояние в очаге деформации без повышения деформирующей нагрузки.

Целью диссертационного исследования является разработка повышения эффективности упрочнения цилиндрических деталей машин путем интенсификации напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя реверсивным выглаживанием.

Основные научные результаты:

По завершению проведенных исследований в диссертационной работе получены следующие научно-практические результаты:

1. Предложен новый способ поверхностного пластического деформирования наружных поверхностей тел вращения при использовании деформирующего инструмента с реверсивной круговой кинематикой рабочего движения, обеспечивающий увеличение значений механических характеристик упрочненного слоя с повышением интенсивности напряженного состояния в очаге деформации и остаточных сжимающих напряжений в поверхностном слое деталей машин. Способ защищен патентом РФ (№ 2758713).

2. На основе метода конечных элементов с использованием программы *ANSYS* разработана расчетная динамическая модель процесса ППД для разной кинематики рабочего инструмента. Результаты исследования показали, что основные технологические параметры реверсивного выглаживания оказывают значи-

тельное влияние на напряженно-деформированное состояние в очаге деформации, сжимающие остаточные напряжения в поверхностном слое и глубину пластической деформации цилиндрических деталей. Для интенсификации напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя определены рациональные режимы обработки реверсивным выглаживанием: продольная подача ролика $0,10 \div 0,15$ мм/об, частота вращения заготовки $180 \div 240$ об/мин и величина радиального натяга $0,15 \div 0,20$ мм, реверсивная частота вращения рабочего инструмента $250 \div 270$ дв. ход/мин, амплитуда угла реверсивного вращения рабочего инструмента $\pm 50^\circ \div \pm 55^\circ$ и с начальным углом установки рабочего инструмента 90° .

3. Геометрия рабочего инструмента оказывает значительное влияние на напряженно-деформированное состояние и глубину пластической деформации цилиндрических деталей при реверсивном выглаживании. Для интенсификации напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя рекомендуется использовать двухрадиусный тороидальный ролик диаметром $25 \div 30$ мм, с профильным радиусом $2,5 \div 3$ мм и расстоянием между вершинами двухрадиусного ролика около 2 мм.

4. На основе компьютерного моделирования установлено критическое значение температуры в очаге деформации для деталей из стали 45 (при данных условиях обработки $T_{кр} = 155$ °С), превышение которой приводит к снижению максимальной интенсивности временных и остаточных напряжений. При реверсивном выглаживании и использовании технологической смазки, температура на поверхности детали при упрочнении варьируется от 42 °С до 123 °С.

5. Экспериментальными результатами установлено, что после реверсивного выглаживания в поверхностном слое деталей формируются достаточно большие сжимающие остаточные напряжения ($\sigma^{ост} \sim 340 \div 345$ МПа) по сравнению с другими способами ППД. Полученные положительные результаты подтверждают техническую идею по повышению напряженного состояния в очаге деформации за счет усложнения кинематики процесса упрочнения.

6. Реверсивное выглаживание способствует повышению не только микротвердости, но и глубины наклепа поверхностного слоя цилиндрических деталей, при этом твердость и микротвердость деталей повышаются в среднем на 12 % и 45 % по сравнению с величиной исходной твердости и микротвердости. Глубина наклепа поверхностного слоя детали достигает величины около 1,65 мм, и при изменении режимов реверсивного выглаживания степень упрочнения поверхностного слоя детали варьируется в интервале $55 \div 80$ %.

7. Способ реверсивного выглаживания значительно снижает микрогеометрические параметры поверхности цилиндрических деталей, при этом параметры шероховатости Ra и Rz уменьшаются в 8,3 и 4,4 раза, высота Wz и шаг Sw неровности поверхности уменьшаются на 64 % и 47 %, соответственно отклонение от круглости поверхности деталей снижается в 3,6 раза.

8. При реверсивном выглаживании формируются зерна в интенсивно деформированном поверхностном слое, которые в $25 \div 35$ раз меньше зерен в неде-

формированном металле. Экспериментальные результаты показывают, что размеры зерен и микротвердость достаточно тесно связаны между собой (коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 = 0,98$).

9. По результатам множественной регрессии определены рациональные режимы реверсивного выглаживания, обеспечивающие наилучшие показатели качества поверхности деталей. Для снижения микрогеометрических показателей поверхности упрочненных деталей (шероховатость, волнистость и отклонение от круглости) установлены следующие режимы упрочнения: $S_{\text{пр}} = 0,07 \div 0,10$ мм/об; $n_p = 60 \div 100$ об/мин; $t = 0,08 \div 0,10$ мм; $n_p = 115 \div 120$ дв. ход/мин; $\alpha_n = 90^\circ$ и $\alpha_p = \pm 10^\circ \div \pm 20^\circ$. Для повышения сжимающих остаточных напряжений и механических свойств поверхностного слоя деталей рекомендуются следующие режимы упрочнения: $S_{\text{пр}} = 0,07 \div 0,10$ мм/об; $n_p = 280 \div 300$ об/мин; $t = 0,28 \div 0,30$ мм; $n_p = 290 \div 300$ дв. ход/мин; $\alpha_n = 90^\circ$ и $\alpha_p = \pm 55^\circ \div \pm 60^\circ$.

10. В результате экспериментальных исследований эксплуатационных показателей деталей, упрочненных реверсивным выглаживанием, установлено, что по сравнению с обкаткой тороидальным роликом износостойкость повышается в 3,1 раза, скорость коррозии снижается на 47 %, изгибная жесткость повышается на 47,5 %. Экспериментальные результаты показывают, что высотные показатели шероховатости и скорость коррозии достаточно тесно связаны между собой (коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 = 0,99$).

Научная новизна работы:

1. Предложена новая кинематика отделочно-упрочняющей обработки реверсивным круговым вращением рабочего инструмента, обеспечивающая повышение качества поверхностного слоя и эксплуатационные свойства деталей машин типа валов и осей.

2. Разработана конечно-элементная модель процесса реверсивного выглаживания, позволяющая определить напряженно-деформированное состояние в очаге деформации, сжимающие остаточные напряжения поверхностного слоя упрочненных деталей и величину температуры в зоне деформации в зависимости от основных технологических параметров реверсивного выглаживания.

3. На основании экспериментальных исследований и численных расчетов установлено влияние основных технологических параметров реверсивного выглаживания на качество поверхностного слоя упрочненных деталей. Теоретически обоснована и экспериментально апробирована технология реверсивного выглаживания, отличающаяся локальным способом нагружения поверхностного слоя, обеспечивающая высокую микротвердость (до $470 HV_{0,1}$) с получением мелкозернистой структуры ($1,3 \div 1,5$ мкм), при исходном размере зерна ($38,2 \div 44,7$ мкм) без разрушения поверхностного слоя упрочненных деталей.

4. Установлены корреляционные зависимости между микротвердостью и средними размерами зерен упрочненного поверхностного слоя, между сжимающими остаточными напряжениями и температурой в зоне контакта рабочего инструмента с обрабатываемой поверхностью.

Конкретное личное участие автора в получении результатов научных исследований, изложенных в диссертации. Предложен новый способ обработки цилиндрических деталей ППД, разработана конечно-элементная модель локального нагружения при разных схемах кинематики деформирующего инструмента, спроектировано и изготовлено устройство для реверсивного выглаживания цилиндрических деталей типа валов и осей, выполнены экспериментальные исследования, проведен анализ и обобщение полученных результатов, сформулированы выводы и положения, выносимые на защиту.

Достоверность результатов обеспечена обоснованным использованием теоретических зависимостей, допущений и ограничений, корректностью выбранных методов исследования, применением известных численных методов и подтверждается качественным и количественным согласованием результатов расчетов с экспериментальными данными.

Практическая значимость:

1. Разработана технология упрочнения реверсивным выглаживанием, обеспечивающая повышение качества цилиндрических деталей типа валов, осей. Определены рациональные режимы обработки для получения минимальной шероховатости поверхности и максимальных механических свойств упрочненного слоя.

2. Спроектировано и изготовлено устройство для реверсивного выглаживания цилиндрических деталей типа валов, осей. Разработаны новые конструкции других устройств для реверсивного движения рабочего инструмента.

3. Разработаны технологические рекомендации для внедрения реверсивного выглаживания на производстве.

Внедрение научных результатов:

Результаты диссертационного исследования по теме «Повышение эффективности упрочнения цилиндрических деталей реверсивным выглаживанием» выполненного на кафедре материаловедения, сварочных и аддитивных технологий внедрены в учебном процессе по направлению 15.03.01 - Машиностроение на основании решения кафедры.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности 2.5.6– «Технология машиностроения»:

Диссертация соответствует пунктам области исследования №2 (Технологические процессы, операции, позиции, технологические переходы и рабочие хода, обеспечивающие повышение качества изделий и снижение их себестоимости), №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:

В изданиях, входящих в перечень ВАК РФ:

1. Зайдес С.А., **Нгуен Хыу Хай**. Влияние кинематики тороидального инструмента на напряженно-деформированное состояние поверхностного слоя деталей машин // Научные технологии в машиностроении. 2022. № 6(132). С. 12-21
2. Зайдес С.А., **Нгуен Хыу Хай**. Влияние кинематики тороидального инструмента на остаточное напряженно-деформированное состояние поверхностного слоя деталей машин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2022. № 7(748). С. 33-41
3. Зайдес С.А., **Нгуен Хыу Хай**. Напряженно-деформированное состояние поверхностного слоя при реверсивном поверхностном пластическом деформировании деталей машин // Упрочняющие технологии и покрытия. 2022. Том 18. № 7(211). С. 320-327
4. Зайдес С.А., **Нгуен Хыу Хай**. Влияние начальной ориентации рабочего инструмента на напряженно-деформированное состояние при реверсивном поверхностном пластическом деформировании // Технология металлов. 2022. № 12. С. 11-20
5. Зайдес С.А., Рыжиков И.Н., **Нгуен Хыу Хай**. Оценка влияния кинематических параметров рабочего инструмента на напряженно-деформированное состояние при реверсивном поверхностном пластическом деформировании // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2023. № 2. С. 23-32
6. Зайдес С.А., **Нгуен Хыу Хай**. Влияние основных параметров реверсивного поверхностного пластического деформирования на напряженно-деформированное состояние цилиндрических деталей // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 3(55). С. 7-15
7. Зайдес С.А., **Нгуен Хыу Хай**. Влияние кинематики тороидального ролика на напряженно-деформированное состояние при поверхностном пластическом деформировании // Металлообработка. 2022. № 2(128). С. 40-48
8. Зайдес С.А., **Нгуен Хыу Хай**. Интенсификация напряженного состояния в очаге деформации при локальном воздействии деформирующего инструмента // *iPolytech Journal*. Т. 26. № 4. С. 580-592
9. Зайдес С.А., **Нгуен Хыу Хай**. Определение температуры в очаге деформации при реверсивном поверхностном пластическом деформировании // Вестник машиностроения. 2023. № 8. С. 658-662.
10. Зайдес С.А., **Нгуен Хыу Хай**. Оценка геометрических параметров отпечатка и давления в зоне контакта рабочего инструмента при реверсивном поверхностном пластическом деформировании // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2023. № 3(756). С. 34-45
11. Зайдес С.А., **Нгуен Хыу Хай**. Влияние параметров реверсивного поверхностного пластического деформирования на шероховатость упроченных деталей // Вестник Воронежского государственного технического университет. 2023. Т. 19. № 1. С. 120-130
12. Зайдес С.А., **Нгуен Хыу Хай**. Влияние геометрии инструмента на напряженно-деформированное состояние цилиндрических деталей при реверсивном поверхностном пластическом деформировании // Вестник машиностроения. 2023. Т. 102. № 7. С. 580-585

13. Зайдес С.А., **Нгуен Хыу Хай**. Влияние реверсивного поверхностного пластического деформирования на параметры волнистости цилиндрических деталей // Научные технологии в машиностроении. 2023. № 4(142). С. 37-48

14. Зайдес С.А., **Нгуен Хыу Хай**. Механические свойства упрочненного слоя при реверсивном поверхностном пластическом деформировании // Упрочняющие технологии и покрытия. 2022. Том 19. № 7(223). С. 304-311

В изданиях, входящих в перечень Scopus:

15. Zaides S.A., Nguyen Huu Hai. Non-contact deformation with reversible surface plastic deformation // PNRPU Mechanics Bulletin. 2023. No. 3. pp. 63-74.

16. S.A. Zaides, Huu Hai Nguyen. Deviation from Roundness of Cylindrical Parts from Steel 45 with Reversible SPD // Steel in Translation. 2023. Vol. 53. No. 6. pp. 554-561.

17. Зайдес С.А., **Нгуен Хыу Хай**. Влияние реверсивного поверхностного пластического деформирования на изменение зеренной структуры углеродистой стали // Черные металлы. 2023. № 6. С. 61-70

Патенты РФ:

18. Патент № 2758713, Российская Федерация, МПК-В24В 39/04. Способ поверхностного пластического деформирования наружных поверхностей тел вращения / Зайдес С.А., **Нгуен Хыу Хай**. Опубл. 01.11.2021. Бюл. № 31.

19. Патент № 2763065, Российская Федерация, МПК-В24В 39/04. Устройство для осциллирующего движения рабочего инструмента / Зайдес С.А., **Нгуен Хыу Хай**. Опубл. 27.12.2021. Бюл. № 36.

20. Патент № 2764452, Российская Федерация, МПК-В24В 39/04. Устройство для круговой осцилляции рабочего инструмента / Зайдес С.А., **Нгуен Хыу Хай**, Москвитин В.Н. Опубл. 17.01.2022. Бюл. № 2.

21. Патент № 2764932, Российская Федерация, МПК-F16Н 37/00. Устройство для реверсивного вращения рабочего инструмента / Зайдес С.А., **Нгуен Хыу Хай**. Опубл. 24.01.2022. Бюл. № 3.

22. Патент № 2779378, Российская Федерация, МПК-В24В 39/04. Устройство для осциллирующего вращения рабочего инструмента / Зайдес С.А., **Нгуен Хыу Хай**. Опубл. 06.09.2022. Бюл. № 25.

В прочих изданиях:

23. Зайдес С.А., **Нгуен Хыу Хай**. Способ и устройства для осциллирующего вращения рабочего инструмента // XI Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием "Жизненный цикл конструкционных материалов (от получения до утилизации)". Иркутск: ИРНИТУ. 2021. С. 38-48.

24. Зайдес С.А., **Нгуен Хыу Хай**. Влияние реверсивного поверхностного пластического деформирования на формирование остаточных напряжений // XII Всероссийская научно-техническая конференция "Жизненный цикл конструкционных материалов". Иркутск: ИРНИТУ. 2022. С. 235-244.

25. До Ньы И, **Нгуен Хыу Хай**. Реверсивное поверхностное пластическое деформирование цилиндрических деталей транспортной техники // Перспективное развитие науки, техники и технологий. Курск, 01 ноября 2022 года. С. 125-129.

26. Хоанг Нгок Ань, **Нгуен Хыу Хай**. Влияние кинематики тороидального

ролика на напряженно деформированное состояние цилиндрических деталей // Инновации в машиностроении (ИНМАШ - 2022). Барнаул, 23–25 ноября 2022 года. С. 12-19.

27. Нгуен Тхань Ван, Нгуен Ван Хинь, **Нгуен Хыу Хай**. Влияние параметров тороидального ролика на геометрические характеристики отпечатков и давление в зоне контакта при реверсивном поверхностном пластическом деформировании // Современные материалы, техника и технологии. 2022. № 6(45). С. 99-103.

28. Буй Тхань Донг, **Нгуен Хыу Хай**, Нгуен Ван Хинь. Влияние геометрии тороидального ролика на напряженно-деформированное состояние цилиндрических деталей при реверсивном поверхностном пластическом деформировании // Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении. Воронеж: ВГТУ. 2023. С. 97-102.

29. Хоанг Нгок Ань, **Нгуен Хыу Хай**, Нгуен Ван Хинь. Влияние параметров реверсивного поверхностного пластического деформирования на механические свойства упрочненного слоя цилиндрических деталей // Технологии и техника: Пути инновационного развития. Воронеж: ВГТУ. 2023. С. 535-540.

30. Хоанг Нгок Ань, **Нгуен Хыу Хай**, Нгуен Ван Хинь. Оценка геометрических параметров пластического отпечатка и давления в зоне контакта при статическом внедрении рабочего инструмента // Жизненный цикл конструкционных материалов (от получения до утилизации). Иркутск: ИРНТУ. 2023. С. 171-175.

31. Зайдес С.А., **Нгуен Хыу Хай**. Оценка параметров волнистости при реверсивном поверхностном пластическом деформировании // Перспективные направления развития отделочно-упрочняющей обработки и виброволновых технологий. Ростов-на-Дону. 2023. С. 40-46.

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

Диссертация на тему «Повышение эффективности упрочнения цилиндрических деталей машин реверсивным выглаживанием» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения».

Заключение принято на объединенном заседании кафедры материаловедения, сварочных и аддитивных технологий.

Результаты голосования за предоставления диссертации к защите - единогласное, протокол № 1 от 19.09.2023 г.

Председатель объединенного заседания,
заведующий кафедрой МСиАТ, к.т.н., доцент


А.Е. Балановский

Секретарь кафедры


А.А. Лыгденова

