

## ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Люшни Дмитрия Андреевича на тему: «Повышение эффективности пневмодробеструйного упрочнения деталей из титановых сплавов за счет применения рациональных условий и режимов работы», представленный на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 - Технология машиностроения**

Актуальность темы диссертации связана с необходимостью разработки научно-обоснованных решений управления эффективностью процесса пневмодробеструйного упрочнения (ПДУ) крупногабаритных деталей из титановых сплавов за счет применения предельных режимов обработки.

Целью работы является повышение производительности процесса ПДУ и обеспечение требуемых параметров качества поверхности деталей из титановых сплавов на основе определения рациональных режимов поверхностного пластического деформирования материала.

Основной научной новизной диссертационной работы является разработка имитационных моделей процесса ПДУ для определения:

- площади контакта потока дроби с поверхностью заготовки с учетом образования застойных зон;
- остаточных напряжений и накопленной деформации в поверхностном слое заготовки при точечном воздействии дроби;
- напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя заготовок с учетом скорости движения распыляющего сопла и скорости насыщения предельной пластической деформации.

Диссертантом разработана методика исследований шероховатости поверхностей крупногабаритных деталей сложных пространственных форм с помощью оптико-электронного комплекса на рабочем месте и индентификации параметров шероховатости, полученных оптическим и профильным методами.

Практическая значимость результатов работы заключается в разработке рекомендаций:

- для определения рациональных условий упрочнения поверхностного слоя деталей при ПДУ;
- по измерению шероховатости на поверхности крупногабаритных деталей сложных пространственных форм на рабочем месте.

Результаты исследований могут быть использованы производственными предприятиями и в учебном процессе по специальности «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Достоверность научных положений Люшни Д. А. подтверждается согласованностью теоретических выводов и данных моделирования с результатами экспериментальной проверки, применением

сертифицированного программного комплекса ANSYS, использованием стандартизированных методик и методов проведения теоретических исследований и экспериментов, применением измерительной аппаратуры, обеспечивающей надлежащую точность, корректным применением методик измерения, а также согласованностью результатов теоретических и экспериментальных исследований, апробацией работы на научных семинарах, конференциях всероссийского и международного уровней, многочисленными публикациями.

Полученные диссертантом результаты достоверны, выводы и заключения лаконичны и обоснованы.

Автореферат диссертанта хорошо иллюстрирован рисунками, графиками и таблицами.

Диссертационная работа на тему: «Повышение эффективности пневмодробеструйного упрочнения деталей из титановых сплавов за счет применения рациональных условий и режимов работы», отвечает требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», (утвержденного Постановлением правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.), а ее автор Люшня Дмитрия Андреевича заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6-Технология машиностроения.

Согласен на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку моих персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации Люшни Дмитрия Андреевича.

Зав. кафедрой машиностроения и  
материаловедения Поволжского  
государственного технологического  
университета, д.т.н., доцент  
Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл.  
Ленина, д.3  
[kmim@volgatech.net](mailto:kmim@volgatech.net)  
88362686801



С. Я. Алибеков



Шарафутдинова Э.Р

05.12.2024 г.

**ЗАВЕРЯЮ**  
Заместитель директора департамента  
персонала и документооборота  
ФГБОУ ВО «ПГТУ»

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Люшни Дмитрия Андреевича «Повышение эффективности пневмодробеструйного упрочнения деталей из титановых сплавов за счет применения рациональных условий и режимов обработки», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 – Технология машиностроения.

Актуальность представленной на отзыв работы определяется, с одной стороны, перспективностью процесса пневмодробеструйного упрочнения (ПДУ), позволяющего обрабатывать поверхности деталей сложной формы, стабилизировать шероховатость обработанных поверхностей, увеличивать микротвердость поверхностного слоя и сжимающие остаточные напряжения (ОН). С другой стороны, тем фактом, что, несмотря на большой опыт практического применения методов поверхностного пластического деформирования для упрочнения деталей и исследований в области поверхностного пластического деформирования, до сих пор не разработано научно-обоснованных рекомендаций управления эффективностью ПДУ крупногабаритных деталей из титановых сплавов за счет применения предельных режимов обработки.

Для достижения поставленной автором цели и решения задач исследования, автором выполнено следующее:

- разработана имитационная модель ПДУ для оценки площади контакта потока дроби с поверхностью заготовки с учетом образования застойных зон;
- разработаны имитационные модели ПДУ для оценки напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя заготовки при точечном воздействии дроби и с учётом скорости движения распыляющего сопла и скорости насыщения предельной пластической деформации;
- проведено численное моделирование влияния процесса ПДУ на напряженно-деформированное состояние поверхностного слоя заготовки;
- на основе результатов численного моделирования разработаны регрессионные модели влияния режимов ПДУ на параметры напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя заготовки;

– проведены экспериментальные исследования влияния ПДУ на напряженно-деформированное состояние и микротвердость поверхностного слоя заготовки;

– разработана методика и проведены исследования шероховатости на поверхностях крупногабаритных деталей сложных пространственных форм;

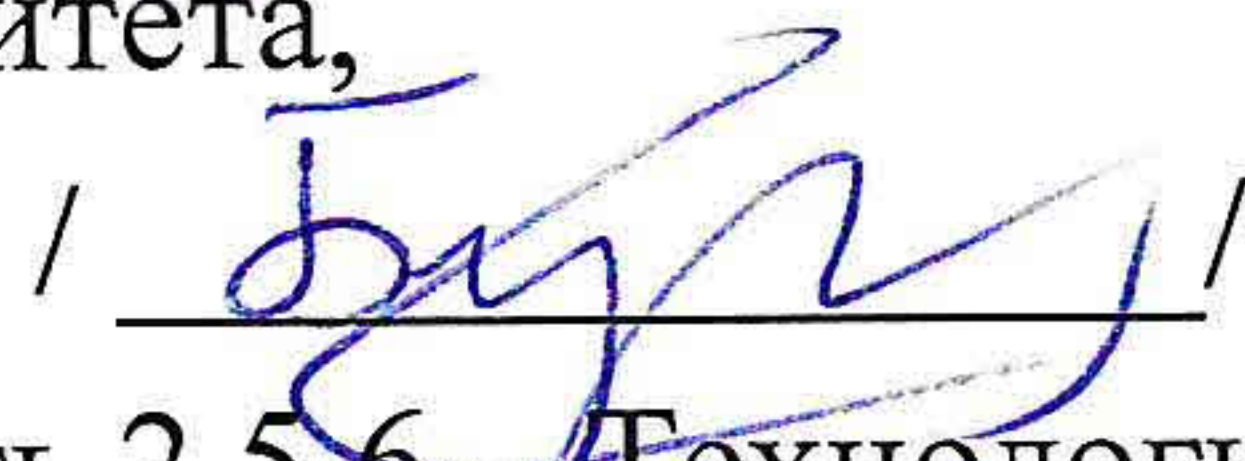
– проведена опытно-промышленная проверка процесса ПДУ в условиях действующего производства.

К замечаниям по работе следует отнести отсутствие (по крайней мере в автореферате) четко сформулированных критериев, которые позволяют установить функциональные зависимости производительности процесса ПДУ от различных факторов и, собственно, самих зависимостей в виде математической модели.

Указанное замечание не снижает научной и практической значимости работы в целом, отзыв на представленную работу положительный, а ее автор, Люшня Дмитрий Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6. – Технология машиностроения.

Заведующий кафедрой технологии строительного  
производства института архитектуры и строительства  
Волгоградского государственного  
технического университета,

д.т.н., профессор.



Олег Васильевич Бурлаченко

Научная специальность 2.5.6 – Технология машиностроения.

400005, г.Волгоград, им.Ленина пр-кт,28

11.11.2024 г.

Телефон 8(8442) 97-46-87, e-mail: oburlachenko@yandex.ru

Подпись Бурлаченко О.В. заверяю:

Ученый секретарь института

архитектуры и строительства ФГБОУ

ВО «Волгоградский государственный

технический университет»



Савченко А.В.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Люшня Дмитрия Андреевича «Повышение эффективности пневмодробеструйного упрочнения деталей из титановых сплавов за счет применения рациональных условий и режимов обработки», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6. – Технология машиностроения.

Диссертационная работа Люшня Д.А. посвящена актуальной тематике, связанной с разработкой технологии упрочнения поверхностного слоя деталей из титановых сплавов, которые широко применяют в аэрокосмической технике. Надежность таких деталей во многом зависит от состояния поверхностного слоя, в котором в первую очередь возникают микродефекты способные привести к повреждениям и разрушениям металлоконструкций. К сожалению, при механической обработке резанием не удается получить поверхностный слой требуемого качества, поэтому такие детали обычно подвергаются дополнительной отделочно-упрочняющей обработке. Среди таких технологических процессов достаточно широко применяются способы поверхностного пластического деформирования (ППД), основанные дробеструйном упрочнении. Обработка титановых сплавов ППД в некоторых случаях имеет даже ограничения, так как при процессах скольжения возникает схватывание материала детали и инструмента. В этой связи поиск рациональных режимов упрочнения является, несомненно, актуальной задачей.

К научной новизне работы следует отнести создание имитационных моделей гидродробеструйного упрочнения, позволяющие определить остаточные напряжения в поверхностном слое, накопленную деформацию при упрочнении, площадь контакта потока дроби, напряженно-деформированное состояние поверхностного слоя в зависимости от параметров и режимов упрочнения. Научный интерес представляют полученные регрессионные модели напряженно деформированного состояния поверхностного слоя и разработанная методика исследования шероховатости поверхности упрочненных деталей.

Практическую ценность представляют разработанные рекомендации для определения рациональных условий упрочнения, обеспечивающие требуемые параметры качества деталей из титановых сплавов, а также рекомендаций по определению шероховатости крупногабаритных деталей на рабочем месте. Результаты научных исследований внедрены в учебный процесс по специальности «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств». Практическая ценность работы подтверждена опытно-промышленными испытаниями, которые показали повышение производительности ППД при упрочнение деталей из титановых сплавов.

В работе выполнено большое количество экспериментальных исследований, подтверждающих результаты имитационного моделирования.

К недостаткам данной работы можно отнести следующие:

1. В подразделе «Актуальность» автор отмечает, что при скорости 90 м/с происходит раскол дроби и снижается долговечность упрочненных изделий. Однако исследования проведены именно на такой скорости дроби, и не указаны параметры и режимы, которые устраняют указанные недостатки.

2. В автореферате не представлены графики распределения остаточных напряжений по глубине упрочненного слоя, не указан их вид и какие значения (максимальные или на поверхности) показаны на представленных в автореферате рисунках.
3. В подразделе «Структура и объем диссертационного исследования» указано, что диссертация состоит из 6 глав, но в автореферате отражено только 5 глав.

Отмеченное замечание не снижает общей высокой оценки работы. Содержание автореферата отражает суть выполненных исследований.

Работа полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, Исходя из представленных в автореферате сведений, диссертационная работа выполнена на достаточно высоком уровне, посвящена решению важных научно-технических задач, соответствует требованиям п. 9 требований ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Люшня Дмитрий Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6. – Технология машиностроения.

Доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры материаловедения, сварочных  
и аддитивных технологий ИРНТУ,

заслуженный работник ВШ РФ  Зайдес Семен Азикович

Научные специальности:

05.02.08-Технология машиностроения

05.03.01-Процессы механической и физико-технической обработки, станки  
и инструменты.

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»,  
кафедра материаловедения, сварочных и аддитивных технологий

Тел.: +7 (3952) 40-50-79

E-mail: zsa@istu.edu



Специалист по управлению  
персоналом 1 категории



В диссертационный совет 99.2.001.02  
на базе ФГБОУ ВО УлГТУ и ТГУ,  
432027, г. Ульяновск,  
ул. Северный Венец, д.32

### ОТЗЫВ

на автореферат кандидатской диссертации Люшни Дмитрия Андреевича  
на тему «Повышение эффективности пневмодробеструйного упрочнения  
деталей из титановых сплавов за счет применения рациональных условий и  
режимов обработки».

Специальность: 2.5.6 – Технология машиностроения

Известно, что эксплуатационный ресурс машин и механизмов во многом определяется качеством изготовления входящих в их конструкцию деталей. И здесь особую роль играет надежное и экономически эффективное технологическое обеспечение заданных конструктором физико-механических характеристик несущих поверхностей этих деталей.

В этой связи диссертационную работу Люшни Дмитрия Андреевича посвященную повышению производительности процесса пневмодробеструйного упрочнения (ПДУ) и обеспечение требуемых параметров качества поверхности деталей из титановых сплавов путем оптимизации условий и режимов этой технологической операции следует считать актуальной.

В ходе исследований, выполненных в рамках этой работы, автором решены все предусмотренные задачи и получен ряд результатов, имеющих существенное научное и практическое значение. К основным из них относятся следующие.

1 Имитационные модели процесса ПДУ для определения:

- площади контакта потока дроби с поверхностью заготовки с учетом образования застойных зон;
- остаточных напряжений и накопленной деформации в поверхностном слое заготовки при точечном воздействии дроби;
- напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя заготовок с учетом скорости движения распыляющего сопла и скорости насыщения предельной пластической деформации.

2 Результаты численного моделирования влияния процесса ПДУ на напряженно-деформированное состояние поверхностного слоя заготовки при предельных режимах обработки.

3 Регрессионные модели параметров напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя заготовки в зависимости от условий и режима ПДУ.

4 Методика исследования шероховатости поверхностей крупногабаритных деталей сложных пространственных форм с помощью оптико-электронного комплекса на рабочем месте и идентификации параметров структуры с параметрами шероховатости, полученных оптическим и профильным методами.

5 Рекомендации по:

- определению рациональных условий и режимов упрочнения поверхностного слоя деталей методом ПДУ, обеспечивающих требуемые параметры его качества;

- измерению шероховатости на поверхностях крупногабаритных деталей сложных пространственных форм на рабочем месте.

Практическую значимость работы подтверждает факт успешного опытно-промышленного испытания разработанной технологии в производственных условиях ОАО «Авиаагрегат» (г. Самара), показавшая возможность повышения производительности ПДУ деталей из титановых сплавов в 1,2 – 1,4 раза по сравнению с заводской технологией.

Следует отметить и достаточную апробацию в научном сообществе основных положений, результатов работы и выводов, сформулированных автором (опубликованы в 8 печатных работ, из них, 1 статья в изданиях, индексируемых в базе SCOPUS, 2 - рекомендованных ВАК РФ, 5 - рекомендованных РИНЦ РФ; доложены на конференциях ICMSSTE 2021, ICMSSTE 2022, ICMSSTE 2023).

#### Замечания по автореферату

1 Предметом исследований являются, все же закономерности формирования напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя деталей из титановых сплавов при пневмодробеструйном упрочнении, а не сам процесс исследование этих закономерностей, как указано в автореферате.

2 Нет описания методики оптимизации условий и режимов операции ПДУ хотя эта оптимизация является целью работы.

Здесь, на мой взгляд, автору просто необходимо было использовать метод математического планирования оптимального многофакторного эксперимента. Это позволило бы значимо сократить трудоемкость исследований и повысить степень достоверности их результатов.

3 Не приведено объяснения физической сути явлений, протекающих в зоне обработки в следствии которых, автором получены те или иные результаты воздействия входных факторов на выходные параметры процесса ПДУ. Например, почему:

- при повышении скорости дроби с 60 до 90 м/с при диаметре дроби 0,3 мм остаточные напряжения увеличиваются с 750 – 780 МПа до 800 – 810 МПа,



а колебания остаточных напряжений связаны с изменением угла наклона сопла и не превышают 5 – 7 % ?

- повышение скорости движения сопла способствует снижению интенсивности насыщения поверхности пластической деформацией, которое компенсируется повышением скорости дроби для обеспечения требуемого уровня остаточных напряжений и пластических деформаций?

В целом считаю, что данная научно-квалификационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (п.9-11,13,14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 года), а её автор – Люшня Дмитрий Андреевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения».

Доктор техн. наук, профессор, профессор кафедры «Машиностроение» политехнического института ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет»



Курдюков Владимир Ильич

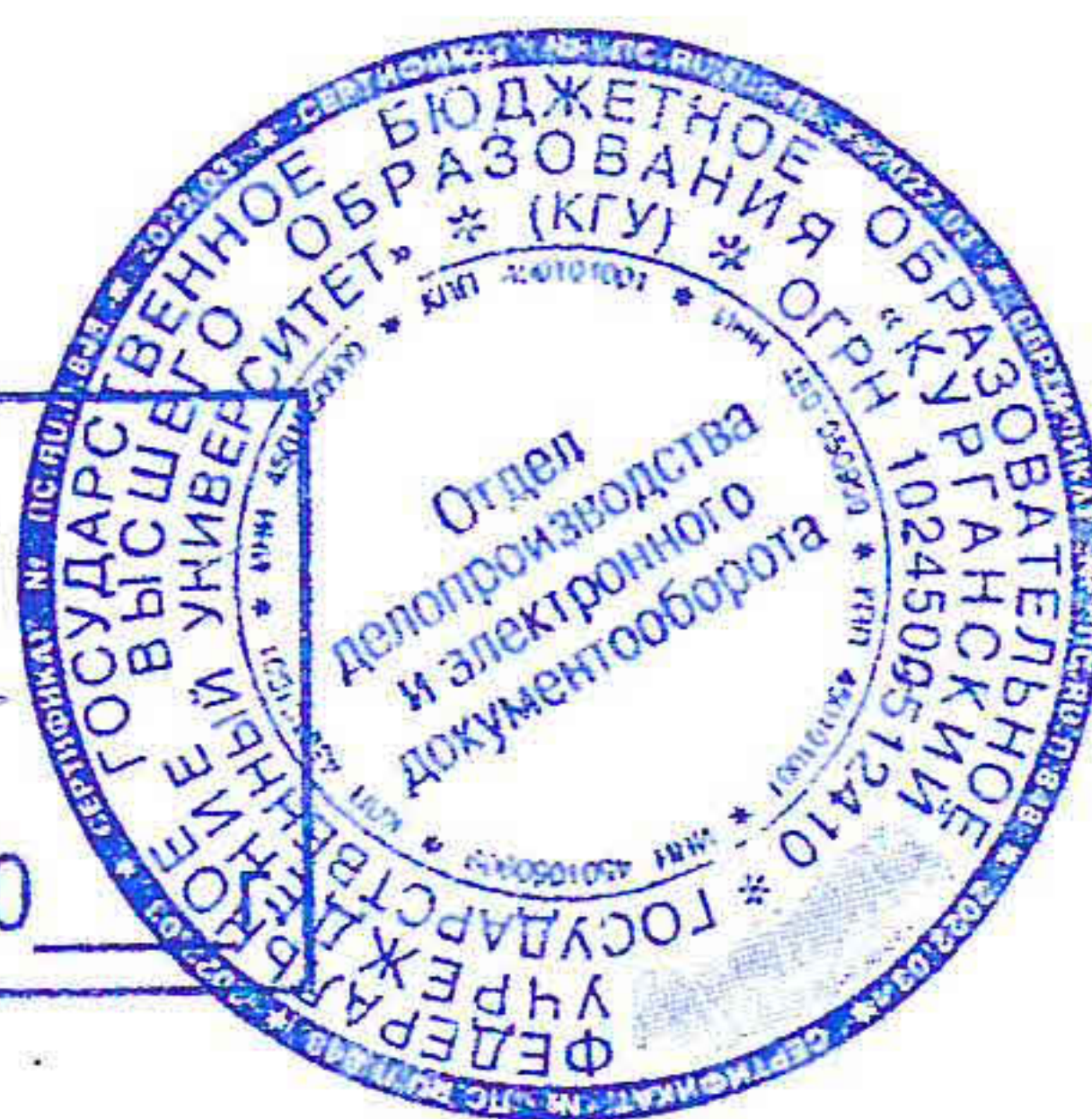
Научная специальность 2.5.5 (05.03.01) – Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки.

640020, г. Курган, ул. Советская, 63, стр.4, ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», телефон: +7 (3522) 65-49-08, e-mail: polytech@kgsu.ru

Подпись В.И. Курдюкова заверяю:

ВЕРНО  
Начальник ОдиЭД  
Козлова М.А.  
« 12. 12. 2024

20



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Люшни Дмитрия Андреевича  
"Повышение эффективности пневмодробеструйного упрочнения  
деталей из титановых сплавов за счет применения рациональных  
условий и режимов обработки", представленной на соискание ученой  
степени кандидата технических наук по специальности  
2.5.6 – Технология машиностроения

Пневмодробеструйная обработка является достаточно известным способом поверхностной упрочняющей обработки деталей, изготовленных из различных металлов и сплавов, с большим разнообразием формы и габаритов. На практике достаточно сложной задачей является обеспечение рациональных показателей качества поверхностного упрочненного слоя с помощью технологических режимов обработки. Применение современных методов моделирования условий обработки, основанных на конечно-элементном анализе, позволило соискателю найти существенный резерв для повышения эффективности пневмодробеструйной поверхностной упрочняющей обработки применительно к крупногабаритным деталям из титановых сплавов, что в современных условиях имеет высокую актуальность.

В процессе выполнения диссертационной работы соискателем были получены новые результаты, имеющие научную новизну. На основе математического моделирования пневмодробеструйной обработки получена численная связь параметров напряженно-деформированного состояния упрочняемой поверхности в зависимости от условий и режимов процесса. На основании проведенных исследований сформулированы рекомендации для обеспечения рациональных параметров поверхностного слоя обрабатываемых деталей, включая глубину упрочнения и уровень остаточных напряжений. Производственные испытания показали существенное повышение производительности в 1,2-1,4 раза, что, несомненно, имеет практическую значимость.

В качестве замечания по автореферату можно указать то, что регрессионные зависимости параметров напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя (табл. 1) являются линейными, хотя использование математического планирования второго порядка позволило бы получить более точные уравнения.

Указанное замечание не носит принципиального характера и не влияет на общую положительную оценку автореферата диссертации. Достовер-

ность результатов исследования и обоснованность рекомендаций не вызывает сомнений, публикации в достаточной мере отражают суть работы.

**Заключение.** Диссертация Люшни Дмитрия Андреевича является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технологические решения, имеющие существенное значение в целом для поверхностной пластической деформационной обработки. Работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6. – Технология машиностроения.

Доцент кафедры проектирования  
технологических машин  
ФГБОУ ВО «НГТУ»,  
к.т.н., доцент

Зверев Егор Александрович

Адрес: 630073, г. Новосибирск, Проспект Карла Маркса, д. 20,  
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет».  
Тел./ факс +7(383) 346-17-79  
E-mail: zverev@corp.nstu.ru

Подпись Зверева Егора Александровича заверяю.

ИП ОК ИТМ



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации ЛЮШНЯ Дмитрия Андреевича, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Повышение эффективности пневмодробеструйного упрочнения деталей из титановых сплавов за счет применения рациональных условий и режимов обработки» по специальности 2.5.6 – Технология машиностроения

Диссертационная работа Люшня Д.А. направлена на повышение производительности дробеструйного упрочнения и достижения требуемых параметров качества поверхностей деталей из титановых сплавов на основе определения рациональных режимов поверхностного пластического деформирования материала.

Применение дробеструйного упрочнения при изготовлении деталей из титановых сплавов позволяет повысить как производительность обработки, так и эксплуатационные свойства деталей. Титановые сплавы имеют сложный химический состав, низкую теплопроводность и достаточно высокие механические свойства, что создает технологические трудности при их обработке резанием. Режим дробеструйного упрочнения деталей из таких материалов выбирают в зависимости от марки металла и требований к микрогеометрии поверхности, глубине и степени наклепа, а также к остаточным напряжениям. Рациональный выбор режимов пневмодробеструйного упрочнения (ПДУ) возможен на основе научно обоснованного подхода к оценке влияния режимных параметров процесса на показатели качества поверхности и производительность обработки.

Поэтому тема диссертации по достижению требуемых показателей качества и повышение эффективности ПДУ деталей из титановых сплавов является актуальной для машиностроительного производства.

Научная новизна работы заключается в разработке имитационных моделей:

- 1) для определения площади контакта потока дроби с поверхностью заготовки с учетом застойных зон;
- 2) для определения остаточных напряжений и деформаций в поверхностном слое заготовки;
- 3) для определения напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя с учетом скорости перемещения распыляющего сопла, а также результатах численного моделирования влияния ПДУ на напряженно-деформированное состояние поверхностного слоя при наиболее интенсивных режимах обработки; регрессионных моделях параметров напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя в зависимости от условий и режима ПДУ и методике исследования шероховатости поверхностей крупногабаритных деталей сложных пространственных форм с помощью оптико-электронного комплекса на рабочем месте и идентификации параметров структуры с параметрами шероховатости, полученных оптическим и профильным методами.

Проведенные автором исследования позволили:

- 1) разработать имитационные модели процесса ПДУ, на основе которых установлено влияние технологических факторов на производительность обработки и показатели качества поверхности;
- 2) экспериментально подтвердить, что предложенное увеличение скорости дроби с 60 м/с (по заводской технологии) до 90 м/с обеспечило повышение остаточных напряжений в поверхностных слоях металла на 7-9%, глубины их залегания на 40-60%, величину пластических деформаций в 3,5-4 раза, а степень пластической деформации с 30% до 36%.

Наиболее ценным результатом является проведение опытно-промышленных испытаний на предприятии ОАО «Авиаагрегат» (г. Самара), которые показали, что производительность обработки повысилась в 1,2...1,4 раза, при этом экономический эффект на одну деталь составил 14329 руб.

Поэтому научная и практическая значимость работы не вызывает сомнений.

Опубликованные автором работы раскрывают основное содержание диссертации.

Выводы по работе обоснованы, аргументированы, содержат количественную оценку достигнутых результатов.

В качестве замечаний следует отметить:

1) из какого материала предполагается изготавливать сопло устройства для обеспечения его износостойкости при увеличении давления сжатого воздуха более чем в два раза, а скорости дробы на одну треть по сравнению с производственной технологией?

2) непонятно, что автор подразумевает под выражением «насыщение поверхностного слоя пластическими деформациями», так на с.10 автореферата он называет это явление «момент постоянства напряжений», а на с.17, табл.3 – «количество ударов до предельной пластической деформации»;

3) из автореферата неясно, определялась ли для титановых сплавов предельно допустимая интенсивность динамического воздействия (ударов) дробы на единицу площади обрабатываемой поверхности, после которой начинается «перенаклеп» металла с разрушением поверхностного слоя.

Указанные замечания не снижают положительной в целом оценки исследований, выполненных автором.

Представленная к защите диссертация представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, которая соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пп.9-11,13,14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013г., а ее автор, ЛЮШНЯ Дмитрий Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6. – Технология машиностроения.

Согласны на обработку персональных данных

1) Зверовщиков Александр Евгеньевич  
д.т.н. (05.02.08 — Технология машиностроения;  
05.02.07 — Технология и оборудование  
механической и физико-технической обработки)  
ФГБОУ ВО «Пензенский  
государственный университет», профессор,  
зав. кафедрой «Технологии и оборудование  
машиностроения»

440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40,  
тел.: (841-2)20-84-30  
адрес электронной почты [azwer@mail.ru](mailto:azwer@mail.ru)

2) Зверовщиков Владимир Зиновьевич  
д.т.н. (05.02.08 — Технология машиностроения;  
05.02.07 — Технология и оборудование  
механической и физико-технической обработки)  
ФГБОУ ВО «Пензенский  
государственный университет», профессор,  
профессор кафедры «Технологии и оборудование  
машиностроения»

440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40,  
тел.: (841-2) 20-84-30,  
адрес электронной почты [tmspgu@mail.ru](mailto:tmspgu@mail.ru)

Подписи д.т.н., профессора, зав. кафедрой «ТОМ» Зверовщикова А.Е. и д.т.н., профессора каф. «ТОМ» Зверовщикова В.З. удостоверяю

Ученый секретарь ФГБОУ ВО  
«Пензенский государственный университет»  
кандидат технических наук, доцент

О.С. Дорофеева

В объединенный диссертационный совет  
99.2.001.02  
при ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный  
технический университет»  
432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32

### ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Люшни Дмитрия Андреевича  
на тему «Повышение эффективности пневмодробеструйного упрочнения  
деталей из титановых сплавов за счет применения  
рациональных условий и режимов обработки»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.5.6 - Технология машиностроения

Эксплуатационные характеристики крупногабаритных деталей из титановых сплавов в значительной степени зависят от параметров качества их поверхностного слоя: параметров микрорельефа, микротвёрдости поверхностного слоя, величины и глубины сжимающих остаточных напряжений. Повышение производительности пневмодробеструйного упрочнения (ПДУ) ограничивается отсутствием достаточных знаний о физических закономерностях формирования качества поверхностного слоя в зависимости от режимных параметров обработки. Получение этой информации путем физических экспериментов ограничивается высокой трудоемкостью и длительностью проведения экспериментальных исследований.

В связи с этим поставленная в диссертации цель, состоящая в повышении производительности процесса ПДУ и обеспечении требуемых параметров качества поверхности деталей из титановых сплавов на основе определения рациональных режимов поверхностного пластического деформирования материала при использовании имитационного моделирования процессов, происходящих при ПДУ, является актуальной.

Существенное значение для развития теоретического описания поверхностного пластического деформирования имеют разработка моделей формирования напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя заготовок из титановых сплавов при пневмодробеструйном упрочнении и результаты численного моделирования влияния процесса ПДУ на это состояние при предельных режимах обработки.

Предлагаемые автором имитационные модели учитывают влияние на формирование параметров качества поверхностей деталей и производительность процесса таких режимных параметров как скорость дробы, диаметр дробы, скорость и угол наклона сопла.

В экспериментальной части автором исследовались глубина залегания остаточных напряжений, распределение микротвёрдости по глубине поверх-

ностного слоя образцов из титанового сплава ВТ22, а также микрогеометрия поверхности после пневмодробеструйного упрочнения. Полученные данные представляют несомненный интерес для практиков.

Практическая значимость работы подтверждается результатами опытно-промышленных испытаний в условиях предприятия ОАО «Авиаагрегат» (г. Самара). Результаты внедрения предлагаемой технологии ПДУ показали, что производительность процесса упрочнения повысилась в 1,2-1,4 раза при обеспечении требуемых показателей качества поверхностного слоя детали.

Вместе с тем к автореферату есть ряд замечаний:

1. Вызывает некоторые сомнения указание автором в качестве положений, выносимых на защиту, имитационных моделей, регрессионных моделей и методик. Более обоснованным, на наш взгляд, было бы выделение в качестве таких положений тех закономерностей и взаимосвязей явлений, которые были установлены автором с помощью данных моделей и методик.

2. Из автореферата не ясно, каким образом в модели точечного контакта дроби с поверхностью заготовки и модели взаимодействия потока дроби с поверхностью заготовки учитывалась накопленная пластическая деформация.

3. Для титановых ( $\alpha + \beta$ )-сплавов, к которым относится сплав ВТ22, из которого были изготовлены исследуемые автором образцы-свидетели, характерно явно выраженное изменение физико-механических свойств при высоких скоростях деформирования. Учитывалось ли такое изменение в разработанных имитационных моделях?

4. Утверждение автора на стр. 16, что «с увеличением скорости дроби с 60 до 90 м/с величина  $Ra$  повышается на 15-20 %» не согласуется с результатами, приведенными в таблице 2, согласно которым параметр  $Ra$  не увеличивается, а уменьшается.

5. Из автореферата не понятно, за счет каких слагаемых себестоимости получен экономический эффект в расчете на одну деталь (стр. 17) с учетом того, что при увеличении давления воздуха, скорости дроби и скорости движения сопла энергетические затраты возрастут.

В целом, указанные замечания не влияют на общую положительную оценку рецензируемой работы, не дают оснований отрицать её научную ценность и практическую значимость.

Диссертация Люшни Дмитрия Андреевича «Повышение эффективности пневмодробеструйного упрочнения деталей из титановых сплавов за счет применения рациональных условий и режимов обработки», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, по своему научному уровню соответствует установленным требованиям, выполнена с применением современных средств моделирования и экспериментальных методов исследования, является актуальной для технологии машиностроения, имеет научную и практическую значимость.

Считаем, что диссертация Люшня Д.А. соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, а её автор, Люшня Дмитрий Андреевич, заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 – Технология машиностроения.

Заведующий кафедрой мехатронных систем  
машиностроительного оборудования  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Донецкий национальный технический университет»  
283001, Донецкая Народная Республика, г. Донецк, ул. Артема, 58  
тел. +7 (856) 301-07-09, e-mail: donntu.info@mail.ru

Научная специальность 05.02.08 - Технология машиностроения

Доктор технических наук, доцент

Валерий Васильевич Полтавец

Личную подпись д.т.н., доцента Полтавца В.В. заверяю:  
начальник отдела кадров  
ФГБОУ ВО «ДонНТУ»



К.М. Садлова

(подпись)

М.П.

Профессор кафедры мехатронных систем машиностроительного оборудования  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Донецкий национальный технический университет»  
283001, Донецкая Народная Республика, г. Донецк, ул. Артема, 58  
тел. +7 (856) 301-07-09, e-mail: donntu.info@mail.ru

Научная специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

Доктор технических наук, профессор

Владимир Владilenович Гусев

Личную подпись д.т.н., профессора Гусева В.В. заверяю:  
начальник отдела кадров  
ФГБОУ ВО «ДонНТУ»



К.М. Садлова

(подпись)

М.П.



432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32, УлГТУ  
ФГБОУ ВО Ульяновский государственный технический университет

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации

**ЛЮШНИ ДМИТРИЯ АНДРЕЕВИЧА**

по теме: «ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПНЕВМОДРОБЕСТРУЙНОГО  
УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ  
РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ И РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ»,

представленной на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности  
2.5.6 – Технология машиностроения

Для повышения надежности и долговечности крупногабаритных сложнопрофильных деталей из титановых сплавов предлагается применять технологическую операцию пневмодробеструйного упрочнения (ПДУ), которая позволяет улучшать параметры качества: шероховатость, микротвердость и остаточные напряжения (ОН) поверхностного слоя. При этом управление производительностью процесса ПДУ связано с регулированием режима упрочнения – скоростью дроби. Скорость дроби при ПДУ деталей из титановых сплавов на современном оборудовании варьируется в пределах от 60 до 90 м/с. Применение заниженного режима обработки приводит к повышению вероятности несоответствия требований качества и значительному падению производительности процесса, а применение скоростей, превышающих 90 м/с вызывает раскол дроби и также отклонения от требований качества, предъявляемых к детали. В связи с этим предлагается провести дополнительное исследование для определения рационального режима ПДУ, обеспечивающего максимальную производительность с соблюдением требований качества поверхностного слоя.

Проведенный литературный обзор позволил установить актуальную проблему: отсутствие научно-обоснованных рекомендаций управления эффективностью пневмодробеструйного упрочнения крупногабаритных деталей из титановых сплавов за счет применения рациональных режимов обработки. Цель исследования состоит в решении этой проблемы посредством разработки математических моделей на основе комплекса имитационных экспериментов.

К научной новизне работы автор относит ряд имитационных моделей процесса ПДУ, отражающих его наиболее важные для исследования аспекты; численную модель зависимости напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя заготовок от режимов обработки; пакет регрессионных моделей зависимостей параметров напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя заготовки от условий и режима ПДУ.

Кроме того, к научной новизне относится разработанная методика исследования шероховатости поверхностей крупногабаритных деталей сложных пространственных форм с помощью оптико-электронного комплекса на рабочем месте и идентификации параметров структуры с параметрами шероховатости, полученных оптическим и профильным методами.

Теоретическая значимость исследования заключается в разработке имитационных моделей, учитывающих влияние условий и режима процесса ПДУ на формирование параметров качества поверхностей деталей и производительность процесса.

К практической значимости относится разработка рекомендаций для определения рациональных условий упрочнения поверхностного слоя деталей при ПДУ, обеспечи-

вающих требуемые параметры качества поверхностей деталей, а также рекомендаций по измерению шероховатости на поверхностях крупногабаритных деталей сложных пространственных форм на рабочем месте.

Основные результаты исследований представлены достаточно полно, опубликованы в научных изданиях (в том числе 2 статьи ВАК РФ и 1 статья SCOPUS). Апробация результатов осуществлялась в рамках научно-технических конференций ICMSSTE 2021, ICMSSTE 2022, ICMSSTE 2023, Высокие технологии в машиностроении 2021-2023 годах.

**По автореферату имеются следующие замечания:**

- Не обоснован объект исследования. В чем состоит актуальность рассмотрения процесса ПДУ применительно именно к крупногабаритным сложнопрофильным деталям из титановых сплавов?

- Формулировка первого, второго и третьего аспектов научной новизны: «Имитационная модель процесса ПДУ для определения ...». Неясно, что именно является предметом моделирования, что является фактором, что параметром.

- Формулировка шестого аспекта научной новизны. Говорится о методике по исследованию шероховатости поверхности и идентификации (установление тождественности) параметров структуры с параметрами шероховатости. Структура чего? Какие параметры структуры имеются ввиду? Следовало назвать эти параметры?

- Теоретическая значимость исследования обычно состоит в предложении новой теории по рассматриваемой теме (подтверждению или опровержению гипотезы) или новых подходов к решению существующей проблемы. В данном случае теоретическая значимость исследования повторяет научную новизну.

В целом, диссертация «ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПНЕВМОДРОБЕСТРУЙНОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ И РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является научной квалификационной работой и соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», а её автор – Люшня Дмитрий Андреевич заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 – Технология машиностроения.

Д-р техн. наук, профессор кафедры  
технологии автоматизированного машиностроения  
Политехнического института ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

 Ардашев Дмитрий Валерьевич

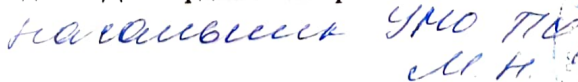
09.12.2024г.

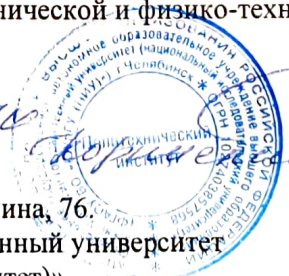
Научные специальности:

05.02.08 – Технология машиностроения

05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки

Подпись Д.В. Ардашев заверяю:



 Печать, дата

454080, г. Челябинск, проспект им. В.И. Ленина, 76,  
ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
(351) 267-99-00

[ardashevdv@susu.ru](mailto:ardashevdv@susu.ru)

[info@susu.ru](mailto:info@susu.ru)