

ФГБОУ ВО «Пермский
национальный исследовательский
политехнический университет»
(ПНИПУ)

"Утверждаю"

614990, Пермский край, г. Пермь,
Комсомольский проспект, д. 29

Тел.: +7 (342) 219-80-67,

E-mail: rector@pstu.ru

Проректор по науке и инновациям
ФГБОУ ВО ПНИПУ
д.т.н., проф., Коротаев В.Н..

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» на диссертационную работу **Федониной Светланы Олеговны** «Повышение качества синтезированных из проволоки деталей волновым термдеформационным упрочнением», представленную на соискание ученой степени кандидата наук по специальности 05.02.08 –Технология машиностроения.

Актуальность темы диссертационного исследования

Актуальность темы определяется тем, что она посвящена повышению качества деталей, синтезированных из проволоки применением технологии волнового термдеформационного упрочнения в процессе синтеза детали с чередованием операций наплавки и упрочнения.

Структура и объем диссертационного исследования

Диссертационная работа является завершенным научным исследованием и состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованных источников и приложений. Объем диссертационной работы составляет 154 страницы, содержит 14 таблиц, 57 рисунков и 12 приложений.

Цель и задачи диссертационного исследования.

Целью диссертационной работы Федониной С.О. является повышение качества (улучшение микроструктуры, уменьшение характерного размера фазовых элементов микроструктуры, повышение твердости, повышение предела прочности и предела текучести) деталей, синтезированных из проволоки, изготовленной из сталей и сплавов группы Cr-Ni и Cr-Ni-Mo, технологией волнового термомодеформационного упрочнения.

Достижение поставленной цели осуществляется путем решения таких сложных комплексных задач, как:

1. Разработка феноменологической модели технологического процесса, включающего 3DMP-синтез, упрочнение волной деформации и механическую обработку и выявление наиболее значимых технологических факторов и выходных параметров процесса.
2. Разработка конечно-элементной динамической модели формирования температурных полей при синтезе детали из проволоки 3DMP-методом (на примере детали типа «оболочка»).
3. Теоретическое и экспериментальное исследование закономерностей нагрева и охлаждения отдельных синтезируемых слоев и детали в целом, выявление при этом влияния энергетической интенсивности наплавки 3DMP-методом на глубину и время выдержки элементарных объемов синтезированного металла при температуре рекристаллизации.
4. Разработка технологической стратегии реализации волнового термомодеформационного упрочнения при синтезе детали 3DMP-методом, выявление при этом рациональных значений температуры упрочнения, интервала времени между воздействиями проволочного фидстока и деформирующего инструмента на элементарный участок обрабатываемой (синтезируемой) поверхности, периодичности деформирующего воздействия (через один или несколько наплавленных слоев).
5. Исследование закономерностей формирования микроструктуры, влияния на твердость, пределы прочности и текучести технологических

факторов ВТДУ на образцах из сталей и сплавов группы Cr-Ni и Cr-Ni-Mo, синтезированных из проволоки 3DMP-методом.

6. Разработка и апробирование на практике технологических рекомендации по реализации ВТДУ при синтезе деталей из проволоки 3DMP-методом.

Научная новизна диссертационного исследования.

Научная новизна диссертационной работы представлена следующими действительно новыми положениями, в которых отражены результаты исследования, полученные лично соискателем:

1. Разработана феноменологическая модель и модель типа «черный ящик» технологического процесса, включающего 3DMP-синтез, упрочнение волной деформации и механическую обработку резанием, выявлены наиболее значимые технологические факторы, оказывающие определяющее влияние на параметры качества поверхностного слоя детали: удельная энергия удара при волновом деформирующем воздействии, коэффициент перекрытия пластических отпечатков, толщина наплавляемого слоя, температура упрочняемого металла.

2. На примере детали типа «оболочка» разработана конечно-элементная динамическая модель формирования температурных полей при синтезе детали из проволоки 3DMP-методом, выявлены закономерности нагрева и охлаждения отдельных синтезируемых слоев и детали в целом. Установлено, что температурный баланс наступает после наплавки 5...6 слоев синтезируемой детали.

3. Адаптированы для волнового термдеформационного упрочнения (ВТДУ) и уточнены известные формулы для определения режимов волнового деформационного упрочнения (ВДУ) в части установления вида связи между температурой ВТДУ и характерным размером отпечатка d на обрабатываемой поверхности.

4. Выявлены закономерности технологического наследования особенностей строения и свойств поверхностного слоя, зависящие от степени и температуры деформации при ВТДУ. В отличие от неупрочненных образцов с транскристаллитной грубой дендритной структурой, образцы после ВТДУ во всех слоях имеют мелкодисперсную микроструктуру раздробленных дендритов, с более чем в 8...10 раз меньшим характерным размером фазовых частиц, зависящих от условий ВТДУ и меняющихся в диапазоне от 10-70 мкм (частицы) до 140-280 мкм (колонии частиц).

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций.

Достоверность результатов настоящего диссертационного исследования подтверждается достаточным объемом анализа литературных источников, использованием современных методик экспериментальных и теоретических исследований и обработки полученных данных.

Разработанная теоретическая конечно-элементная динамическая модель формирования температурных полей основана на исследовании нелинейных быстропротекающих динамических процессов, происходящих в неупругих средах, реализованных в программном комплексе ANSYS/LS-DYNA. Адекватность и информативность разработанной модели подтверждается удовлетворительной сходимостью теоретических результатов с экспериментальными. Экспериментальная часть исследования проведена в соответствии со стандартными методиками на современном оборудовании. Для обработки результатов широко применяется метод регрессионного анализа.

Полученные автором выводы в достаточной степени обоснованы, опираются на существенные научные положения и не противоречат существующим теориям и исследованиям. Принятые граничные условия являются допустимыми и не оказывают существенного влияния на результаты работы. В процессе диссертационного исследования автор

корректно ссылается на заимствованные методики и научные результаты, полученные другими авторами.

Содержание диссертации в достаточной степени отражено в публикациях автора: опубликовано 12 работ, 6 из них опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК, 3 публикации в изданиях, индексируемых в международной базе Scopus. Основные результаты исследований прошли широкую апробацию на конференциях всероссийского и международного уровня.

Значимость результатов, полученных автором диссертационной работы, для науки и практики.

Значимость результатов для науки заключается в том, что полученный комплекс моделей, состоящий из: феноменологической модели и модели типа «черный ящик» технологического процесса, а также конечно-элементной динамической модели температурных полей расширяет научные знания, положения и закономерности технологии машиностроения в области повышения качества изделий на основе эффективного применения упрочняющей обработки. Полученные научные результаты можно использовать для поиска оптимальных технологических режимов ВТДУ, а также исследования вопросов оптимизации комбинированных процессов при синтезе деталей более сложной конфигурации.

Практическая значимость работы заключается в адаптации известного метода волнового деформационного упрочнения (ВДУ) к применению в комбинированной технологии ВТДУ непосредственно в процессе синтеза детали, а также разработанных технологических рекомендаций по применению метода ВТДУ для обеспечения заданных параметров качества поверхностного слоя синтезированных из проволоки хромо-никелевой и хромо-никель-молибденовой групп деталей.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы.

Предлагаемый метод поверхностного пластического деформирования и разработанные в результате исследований технологические рекомендации целесообразно использовать на предприятиях-изготовителях, специализирующихся на изготовлении деталей ответственного назначения аэрокосмической отрасли из высоколегированных сталей и сплавов на основе хрома, никеля и молибдена.

Теоретическая конечно-элементная динамическая модель формирования температурных полей, а также разработанные методики экспериментальных исследований могут эффективно применяться для дальнейших исследований в вопросах синтеза деталей более сложной конфигурации или длинномерных деталей из различных конструкционных материалов.

Отмечая достоинства диссертационной работы, необходимо также указать ее недостатки и сделать замечания.

Замечания по работе.

1. Не конкретизированы детали аэрокосмической отрасли типа «оболочка», а также не указаны условия их эксплуатации.

2. В работе, к сожалению, не проведен сравнительный анализ эффективности применения новой технологии в сравнении с серийной технологией механической обработки деталей тип "оболочка" по производительности и параметрам качества поверхностного слоя.

3. Для практического внедрения новой технологии отсутствуют рекомендации по разработке конструкций промышленных образцов оборудования, включающего модули наплавки с упрочнением и модули механической обработки с рациональными режимами резания.

4. Работу бы украсило исследование напряженно деформированного состояния синтезированного изделия детали без упрочнения и с упрочнением методом конечно-элементного моделирования.

5. Исследования распределения динамических температурных полей при синтезе детали ограничиваются только 18 синтезируемыми слоями жаропрочного материала.

6. Одной из главных проблем выращенных деталей является пористость. Не показано влияние применения упрочняющей обработки на изменение плотности и пористости.

7. При исследовании параметров качества поверхностного слоя полученных образцов следовало бы провести дополнительное исследование образования остаточных напряжений и исследование сопротивления усталости, что очень важно для оценки надежности работы авиационных деталей в условиях вибрационных, знакопеременных и циклических нагрузок.

8. Технологические рекомендации нужно сделать удобными для работы цехового технолога в виде алгоритма работы при технологической подготовке производства.

Заключение.

С учетом отмеченных замечаний считаем, что диссертация Федониной Светланы Олеговны представляет собой законченную научно-квалификационную работу на актуальную для науки и практики тему, имеет научную новизну, четкую структуру, апробирована, принята к внедрению и на НПО «Техномаш», являющимся головным предприятием ГК «Роскосмос». В работе изложены научно обоснованные технические и технологические решения, расширяющие область применения методов поверхностного пластического деформирования и имеющие существенное значение для страны. Основные результаты и выводы по работе обоснованы теоретически и экспериментально и опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.02.08 – Технология машиностроения (п. 2,3, 4, 5, 6, 7) и требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор, Федонина Светлана Олеговна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения.

Диссертационная работа Федониной Светланы Олеговны и настоящий отзыв обсуждены и одобрены единогласно на заседании кафедры Инновационные технологии машиностроения, протокол № 7 от 12 марта 2021 г.

Макаров Владимир Фёдорович

✓ 24.03.2021
Доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», зам. заведующего кафедрой «Инновационные технологии машиностроения», профессор. Специальность 05.03.01 –Процессы механической и физико-технической обработки, станки и инструмент.

Адрес: 614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр., 29. Тел.: (342) 2198236, адрес электронной почты makarovv@pstu.ru