

ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора технических наук, доцента Афонаина Андрея Николаевича
на диссертационную работу Федониной Светланы Олеговны на тему
«Повышение качества синтезированных из проволоки деталей волновым
термодеформационным упрочнением», представленную на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности
05.02.08 – Технология машиностроения

1. Актуальность темы диссертационного исследования.

Аддитивные технологии являются одними из определяющих для перехода человечества к новому технологическому укладу. Их развитие в ближайшем будущем кардинальным образом изменит парадигму проектирования и изготовления деталей машин. Одна из областей, в которых применение аддитивных технологий происходит опережающими темпами, является аэрокосмическая промышленность. Это связано с тем, что аддитивные технологии позволяют значительно снизить массу изготавливаемых деталей.

В то же время, важнейшей проблемой, сдерживающей широкое применение аддитивных технологий, является то, что механические свойства материалов получаемых с их помощью деталей существенно уступают механическим свойствам материалов деталей, получаемых традиционными технологиями. Повышение механических свойств материалов деталей, получаемых аддитивными технологиями, является важнейшей задачей современного машиностроения.

Одним из наиболее эффективных методов упрочнения деталей машин является поверхностное пластическое деформирование (ППД), которое позволяет в значительной степени повысить механические свойства поверхностного слоя и, как следствие, эксплуатационные характеристики детали. Однако, исследования упрочнения ППД деталей, получаемых аддитивными технологиями, практически не проводились. Следовательно, актуальность диссертационной работы,

посвященной повышению качества синтезированных из проволоки деталей волновым термомеханическим упрочнением, не вызывает сомнений.

2. Научная новизна исследований.

В результате выполнения диссертационной работы автором получены следующие новые научные результаты:

1. Впервые проведена адаптация известного ранее способа волнового деформационного упрочнения (ВДУ), позволяющая применять его в процессе синтеза детали во взаимосвязи с термическими явлениями наплавки. Выявлены математические зависимости размеров единичных отпечатков упрочняющего индентора на обрабатываемой поверхности от ее температуры, с помощью которых уточнены основные закономерности для определения технологических режимов ВДУ.

2. Выявлены закономерности технологического наследования особенностей строения материала и свойств поверхностного слоя (твердость, микротвердость, пределы прочности и текучести), синтезируемой из проволоки 3DMP-методом детали, вызванных послойным и периодическим (через несколько слоев) волновым деформационным упрочнением и приведены технологические рекомендации по повышению параметров качества поверхностного слоя ВТДУ деталей из сталей и сплавов Cr-Ni и Cr-Ni-Mo группы, синтезированных из проволоки 3DMP-методом.

3. Вследствие применения ВТДУ впервые достигнуто повышение твердости синтезированных образцов выше уровня проката. Установлено, что в отличие от неупрочненных, синтезированные с применением ВТДУ образцы из сталей и сплавов Cr-Ni и Cr-Ni-Mo группы имеют более высокие механические свойства: твердость - в 2,5...2,6 раза, предел текучести - в 2...2,2 раза, предел прочности - в 1,5...1,7 раза, что существенно (в 1,4...2,5 раза) превышает аналогичные свойства проката из материала той же марки.

3. Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций.

В качестве основной цели исследований автор диссертационной работы ставит повышение показателей качества синтезированных деталей из проволоки хромо-никелевой и хромо-никель-молибденовой групп. Проблематика исследования определена анализом рассматриваемых методов, способных упрочнить наплавленный материал на значительную глубину.

На основании анализа литературных источников выявлен наиболее эффективный технологический метод повышения качества поверхностного слоя – ППД, в частности – метод волнового деформационного упрочнения.

Достоверность результатов выполненных исследований подтверждается применением автором известных методик проведения исследований и обработки экспериментальных данных с построением регрессионных зависимостей, применением контрольно-измерительного оборудования высокой точности, корректным сопоставлением теоретических и экспериментальных результатов.

Обоснованность выводов и результатов диссертации определяется тем, что они базируются на фундаментальных положениях технологии машиностроения и теплофизики технологических процессов, и не противоречат им. Принятые в исследованиях граничные условия корректны и не превышают допустимых.

4. Научная и практическая ценность диссертационной работы.

Содержание диссертации в достаточной степени отражено в научных публикациях: издано 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 и симпозиумах всероссийского и международного уровня.

Представленная диссертационная работа имеет научную и практическую значимость. Научная значимость заключается в разработанных теоретических конечно-элементных моделях, которые позволяют устанавливать закономерности

нагрева и охлаждения отдельных синтезируемых слоев и детали в целом и применяются для выявления наиболее оптимальных технологических режимов упрочнения (необходимая глубина упрочнения, превышающая глубину рекристаллизации; диапазон температуры упрочняемой поверхности; расстояние между наплавляющим фидстоком и упрочняющим роликом, соответствующее выбранному температурному диапазону упрочнения).

Практическая ценность заключается в разработке технологии и оптимальных технологических рекомендаций по стратегии ее реализации, назначению технологических режимов волнового термомеханического упрочнения синтезированных 3DMP-методом деталей из легированных сталей и сплавов хромо-никелевых и хромо-никель-молибденовых групп для обеспечения требуемых параметров качества поверхностного слоя. Практическая ценность и значимость полученных результатов подтверждается заинтересованностью ведущего предприятия космического машиностроения.

5. Оценка содержания и соответствие диссертации и автореферата установленным требованиям.

Содержание диссертации охватывает все основные вопросы, связанные с решением поставленных автором задач, определяющих научную новизну.

Диссертационная работа Федониной Светланы Олеговны является завершённым научным исследованием и состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованных источников. Диссертация изложена на 154 страницах, содержит 14 таблиц, 57 рисунков и 12 приложений. Автореферат достоверно отражает содержание диссертации.

Во введении приведено обоснование актуальности решаемой проблемы, цель, задачи, практическая ценность и научная новизна исследования.

В первой главе приведен анализ современного состояния АТ, выявлена группа деталей типа «оболочка» из сталей и сплавов Cr-Ni и Cr-Ni-Mo группы, применяющихся в аэрокосмической отрасли, для которых актуален переход на технологии аддитивного синтеза. Выбраны наиболее значимые для производства

3DMP-методом и упрочнения параметры качества (микроструктура, твердость (микротвердость), прочность, глубина упрочненного поверхностного слоя). Проведен анализ известных способов повышения значений этих параметров.

Во второй главе описана общая методика исследований повышения параметров качества деталей, синтезируемых из Cr-Ni и Cr-Ni-Mo проволоки. Подобрано оборудование для проведения экспериментальных исследований. Приведено описание и технические характеристики экспериментальной установки для реализации аддитивно-субтрактивно-упрочняющей технологии (АСУТ), на которой проводилась экспериментальная часть исследования. Приведена методика планирования эксперимента и обработки экспериментальных данных.

В третьей главе разработана феноменологическая модель технологии аддитивного синтеза деталей из проволоки и ВТДУ, описывающая закономерности технологического наследования особенностей строения и свойств поверхностного слоя синтезируемой из проволоки 3DMP-методом детали, вызванных послойным и периодическим ВДУ. Доказана эффективность применения ВТДУ и разработана классификация на основании сравнительного анализа с родственными технологическими процессами, основанными на комбинировании термической и деформационной обработки (ВТМО, НТМО, ЭМО). Разработана модель типа «черный ящик» технологического процесса, включающего 3DMP-синтез, упрочнение волной деформации и механическую обработку, с целью выявления наиболее значимых входных независимых технологических факторов и выходных параметров процесса.

Четвертая глава посвящена разработке конечно-элементной динамической модели формирования температурных полей (ДМТП) при синтезе детали из проволоки 3DMP-методом (на примере детали типа «оболочка»). Экспериментально подтверждена адекватность конечно-элементного моделирования. Определен диапазон допустимых энергий аддитивного синтеза и приведено обоснование выбора диапазона температур упрочняемой поверхности и стратегии ВТДУ при последовательной схеме обработки в зависимости от

изменения температурных полей за время выполнения вспомогательных движений исполнительных органов установки. Определен оптимальный диапазон расстояний между наплавляющим фидстоком и упрочняющим индентором.

В пятой главе выявлены закономерности технологического наследования особенностей строения материала и свойств поверхностного слоя (твердость, микротвердость, пределы прочности и текучести), синтезируемой из проволоки 3DMP-методом детали, которые вызваны послойным и периодическим волновым деформационным упрочнением, приведены технологические рекомендации по повышению параметров качества поверхностного слоя ВТДУ деталей из сталей и сплавов Cr-Ni и Cr-Ni-Mo группы, синтезированных из проволоки 3DMP-методом.

В заключении представлены основные результаты и выводы работы.

Следует отметить структурно-логическую целостность диссертационной работы, полноту решений поставленных в работе цели и задач, а также обоснованность сделанных автором выводов.

6. Замечания и пожелания по диссертационной работе и автореферату.

Отмечая достоинства диссертационной работы, необходимо в то же время указать следующие замечания:

1. Для создания конечно-элементной модели процесса было бы целесообразно использовать специальные программные продукты, предназначенные для моделирования аддитивных технологий, например ANSYS Additive Science

2. В работе говорится о возможности управления микроструктурой получаемых деталей за счет изменения режимов обработки, однако рекомендации по выбору режимов для формирования конкретных микроструктур не приведены.

3. В названии работы подчеркивается волновой характер применяемой технологии упрочнения, однако параметрам волны деформации было уделено недостаточно внимания.

4. В работе не было уделено внимания жесткости синтезируемых деталей, что является важным для деталей аэрокосмической техники, в особенности получаемых с помощью аддитивных технологий.

5. При определении степени упрочнения целесообразно было найти зависимость пластической твердости материала от его температуры, что позволило бы использовать уже известные формулы.

6. В работе не рассмотрена возможность управления скоростью охлаждения заготовки за счет применения СОТС, например обдува воздухом.

7. Техническую новизну предложенных в работе решений было бы целесообразно защитить патентами на изобретение.

В то же время, отмеченные недостатки и замечания не влияют на общую положительную оценку работы.

7. Заключение о соответствии диссертации автореферата критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней»

Диссертационная работа «Повышение качества синтезированных из проволоки деталей волновым термомеханическим упрочнением» выполнена на высоком уровне и является законченной научно-квалификационной работой. В ней изложены научно-обоснованные положения, направленные на решение актуальной задачи машиностроения – повышение качества поверхностного слоя синтезированных деталей из проволоки хромо-никелевой и хромо-никель-молибденовой групп деформационным упрочнением. Результаты работы вносят серьезный вклад в развитие ударных методов поверхностного пластического деформирования.

Сформулированные автором положения, выводы и рекомендации обладают научной новизной и нашли свое применение для технического обеспечения качества при изготовлении деталей методом ЗДМР-наплавки из проволоки, изготовленной из высоколегированных сталей и сплавов на основе хрома, никеля и молибдена.

Диссертация полностью отвечает требованиям п.9 «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».

Официальный оппонент:

Доктор технических наук (специальность 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки), доцент, профессор кафедры информационных и робототехнических систем ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

Афонин Андрей Николаевич

Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

Телефон: +7 (4722) 30-12-11

E-mail: aannru@yandex.ru

