

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Какорина Даниила Дмитриевича на тему:
«Автоматизация технологического процесса аддитивного производства
металлических изделий послойной электродуговой наплавкой»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (технические науки)

Актуальность выбранной темы исследования

В диссертации Д.Д. Какорина акцентируется внимание на сложности подбора технологических параметров послойного электродугового наплавления. Рассматриваются вопросы оптимизации таких параметров процесса как температурно-временной режим, траектория и последовательность наплавления, которые зависят от геометрических размеров изделия, предельных температур, теплофизических свойств материала и других специфических характеристик процесса послойного построения. Температура в ванне расплава является ключевым параметром, определяющим качество сплавляемого материала, поскольку определяет условия его кристаллизации и, следовательно, характеристики структуры и величину остаточных напряжений. Завышенная температура приводит к образованию трещин и структурной неоднородности, заниженная – к образованию областей непроплавов. Обычно технологические параметры процесса определяются на этапе технологической подготовки производства, исходя как из результатов предыдущих экспериментов, так и из результатов наплавления серии опытных образцов, что требует последующего анализа их качественных показателей. Такой подход является крайне трудоемким, особенно при организации единичного и мелкосерийного производства. Решение данной проблемы возможно с помощью разработанного автором программного обеспечения, которое

позволяет вычислять температуру металла на основе заданных исходных данных.

Большинство существующих подходов к моделированию процессов аддитивного производства не позволяют в полном объеме охватить все особенности послойного электродугового наплавления присадочной проволоки и не предназначены для работы в комплексе с автоматизированными системами управления. В связи с этим задача разработки программы моделирования температурного поля и автоматизированной системы управления процессом послойного наплавления, позволяющей корректировать режим, траекторию и последовательность наложения слоев в зависимости от текущей температуры и геометрии изделия, является чрезвычайно актуальной.

Оценка достоверности полученных результатов и новизны диссертационной работы

Достоверность результатов диссертационного исследования Какорина Д.Д. подтверждается экспериментальным обоснованием корректности разработанной модели расчета температурного поля и успешным проведением опытно-промышленных испытаний двухконтурной автоматизированной системы управления технологическим процессом аддитивного производства и разработанных программных средств для оптимизации этапа технологической подготовки процесса послойного наплавления. Основные результаты и положения работы докладывались и обсуждались на международных и российских научных и научно-практических конференциях, а также отражены публикациями в ведущих рецензируемых журналах рекомендованных ВАК. Практические результаты работы защищены патентами на изобретение и свидетельством о регистрации программы для ЭВМ.

Новизна полученных результатов заключается в разработке метода автоматизированного управления процессом послойного электродугового наплавления и установки для его реализации. Для расчета температурного поля в процессе послойного наплавления представлена математическая модель,

учитывающая постоянное увеличение высоты конструкции, сложные начальные и граничные условия, зависимость теплофизических свойств металла от температуры, а также возможность охлаждения металла на этапе межслойной выдержки. На основе модели автором разработана структура автоматизированной системы управления технологическим процессом аддитивного производства и программа для моделирования и определения оптимальных параметров процесса.

Теоретическая и практическая значимость результатов диссертационной работы

Теоретическая значимость работы заключается в разработке методов моделирования температурного поля в процессе послойного наплавления и методики подбора оптимальных параметров температурно-временного режима, траектории и последовательности наплавления слоев при аддитивном производстве металлических изделий.

Практическая ценность полученных результатов состоит в том, что разработанная двухконтурная автоматизированная система управления может быть использована инженерами-технологами на различных предприятиях машиностроения, осуществляющих производство единичных и мелкосерийных металлических изделий с использованием технологии послойного электродугового наплавления присадочной проволоки. В диссертации приводятся результаты применения разработанной системы управления на примере послойного электродугового наплавления башмака дискового тормоза подвижного состава. Работоспособность разработанной системы и программы доказана результатами и актом опытно-промышленных испытаний. Практическая ценность работы Какорина Д.Д. также подтверждается актом внедрения результатов исследования в образовательный процесс Тверского государственного технического университета.

Оценка содержания диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Представленная работа содержит 158 страниц, 56 рисунков и 17 таблиц. Список литературы состоит из 120 наименований.

Во введении автором обоснована актуальность темы диссертации, произведён обзор литературы по выбранной теме и анализ степени разработанности темы исследования, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость работы.

Первая глава содержит обзор современных технологий аддитивного производства металлических изделий, их преимуществ и недостатков. Обоснована актуальность технологии послойного электродугового наплавления присадочной проволоки. Рассмотрен технологический процесс аддитивного производства, его этапы и используемое оборудование. Приведены существующие подходы к моделированию процессов аддитивного производства.

Вторая глава посвящена автоматизации процесса послойного электродугового наплавления металла. Проанализированы подходы к моделированию температурного поля с использованием аналитических и численных методов. Обоснована актуальность использования численных моделей для расчета температурного поля в плоских изделиях в среде Matlab с учетом изменения теплофизических свойств стали в зависимости от температуры и послойного добавления материала. На основе модели автором разработан алгоритм программы для расчета температурного поля и определения оптимизированных параметров процесса аддитивного производства.

В третьей главе описано экспериментальное определение технологических параметров послойного электродугового наплавления. Автором выполнен эксперимент, заключающийся в наплавлении образца типа стенка с записью температуры каждого слоя на этапе выдержки. Далее при тех же исходных данных проводилось моделирование температурного поля и

сравнение расчетных значений температур с экспериментальными. С учетом моделирования температурных полей в двухмерной постановке выполняется корректировка расчетов в программе за счет подбора весов теплопроводности в граничной точке и коэффициента принудительного охлаждения металла на этапе выдержки. Результаты идентификации показали высокую точность программных вычислений и подтвердили возможность реального применения программы.

В четвёртой главе представлена постановка задачи управления технологическим процессом аддитивного производства и приведена структура двухконтурной автоматизированной системы управления технологическим процессом аддитивного производства. Для проверки работоспособности предложенной системы управления и программного обеспечения автором выполнен расчет оптимального температурно-временного режима, траектории и последовательности наплавления слоев для реального металлического изделия. На основе полученных результатов проведена оценка эффективности технологической подготовки производства с использованием средств автоматизации. Приведенные автором показатели эффективности подтверждают высокую практическую значимость проделанной работы.

В заключении приводятся основные результаты диссертационной работы, позволяющие сделать выводы о достижении поставленных целей.

Соответствие содержания автореферата диссертации

Автореферат соответствует содержанию диссертации и полностью удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней, так как отражает основные положения, результаты и выводы диссертации, научную новизну и практическую значимость результатов исследования, отражает структуру диссертации и личный вклад автора.

Недостатки и замечания по диссертационной работе

При изучении материалов диссертации отмечены следующие недостатки и замечания:

1. Отсутствует оценка точности геометрических размеров изделий, полученных электродуговым послойным наплавлением металла в зависимости от технологических параметров аддитивного производства.
2. Определение оптимального температурно-временного режима производится для характерной точки поверхности слоя, что затрудняет учет температурного поля по всему объему изделия.
3. В постановке оптимизационной задачи в недостаточной степени раскрыта и соответственно обоснована тема выбора критерия оптимизации и установления граничных значений температур при решении краевой задачи.
4. В диссертационной работе указано, что контроль температуры поверхности слоя осуществляется оптическим пирометром, но не описано, каким образом обеспечивается точность результатов измерений.
5. Применение двухмерной математической модели при расчетах температурно-временных режимов требует применения модуля идентификации для подбора 3-х уточняющих параметров теплообмена, обеспечивающих минимальное отклонение расчетных и экспериментальных значений, что несколько повышает сложность расчета температурного поля для новых изделий.

Отмеченные недостатки не являются принципиальными и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Какорина Д.Д.

Заключение

Диссертация Какорина Даниила Дмитриевича «Автоматизация технологического процесса аддитивного производства металлических изделий послойной электродуговой наплавкой» является законченной научно-квалификационной работой, обладает актуальностью, научной новизной и практической значимостью. Предлагаемые теоретические положения и методы

