

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Чжо Аунг Хтета** на тему «Разработка и исследование взаимосвязанной системы управления процессом формования профильных изделий», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)»

1. Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и основных выводов, списка литературы из 63 наименований. Общий объем работы составляет 104 страниц с приложением. Основная часть изложена на 103 страницах текста и содержит 53 рисунка.

2. Анализ содержания диссертационной работы

Во *введении* на основании аналитического обзора литературных источников обоснована актуальность тематики диссертационной работы, определены цели и задачи исследования. Также сформулированы методы, научная новизна, практическая ценность исследования и основные положения, выносимые на защиту.

В *первой главе* дана общая характеристика, и требования к силовой части системы формообразования изделий сложного профиля с анализом систем управления, представлен обзор современного состояния теории формообразования деталей из толстолистого сплава. Анализ показал наиболее перспективное направление – использование многоточечного устройства силового формования изделий двойной кривизны на базе электромеханических модулей. Данная структура системы управления позволяет контролировать параметры процесса формообразования в процессе изготовления детали. Автором установлены теоретические и практические проблемы работы систем управления многодвигательными линейными электроприводами при большом количестве одновременно управляемых двигателей. На основании этого сформулированы задачи исследований.

Вторая глава посвящена разработке математической модели процесса формования как объекта силового воздействия электромеханического модуля, отличающегося от известных, учётом в усилии нагрузки на вал исполнительного двигателя, размеров и свойств формируемого материала. Представлены имитационные модели локального позиционного электромеханического модуля формирующего стержня и трехточечного узла формования листового материала, позволяющие оценить взаимовлияние локальных электромеханических модулей в процессе формования, а также выявить влияние свойств материала на процесс формообразования.

В *третьей главе* автор обосновал целесообразность использования нечеткого подхода во взаимосвязанной системе управления многоточечного

формования листового материала, так как зависимость ряда параметров объекта (коэффициенты пластичности, упрочнения) от температуры можно описать только эмпирическими зависимостями, в то время как применение классического подхода к автономному управлению электроприводов локальных формирующих стержней реализовать технически сложно, а в некоторых случаях невозможно. Предложена методика настройки нечетких регуляторов скорости и положения локальных электроприводов стержней, обеспечивающая одновременно реализацию компенсации взаимовлияния между локальными электроприводами при достижении приемлемых результатов позиционирования. Исследованиями доказано, что нечеткая система управления многоточечного формования листового материала обладает свойствами нечувствительности к возмущениям от изменения параметров объекта управления в небольших пределах и практически не сказывается на точности позиционирования в процессе формообразования.

В *четвертой главе* для оценки адекватности предложенных автором математических моделей и подтверждения работоспособности синтезированного нечеткого алгоритма управления взаимосвязанной системой управления процессом высокотемпературной многоточечной формовки было проведено его экспериментальное исследование на стендах физического подобию. Проведены экспериментальные исследования локальной системы позиционирования при различных управляющих и возмущающих воздействиях. Результаты экспериментальных исследований доказали правильность теоретических подходов и расчетов, полученных автором на математических моделях.

В *заключении* сформулированы основные научные и практические результаты работы. Проведенный анализ содержания диссертационной работы свидетельствует о том, что диссертация Чжо Аунг Хтета является завершённой научной квалификационной работой, в которой содержится решение поставленной научной задачи. Диссертация написана ясным и содержательным языком, принятая терминология и стиль соответствуют общепринятым нормам. Порядок изложения материалов исследования позволяет рассматривать диссертацию как единое целое.

3. Актуальность темы исследования для науки и практики

Как показывает практика производства крупногабаритных высоконагруженных несущих элементов, имеющих поверхности двойной кривизны, к ним предъявляются достаточно жёсткие требования по точности изготовления и материалоёмкости. Сравнительный анализ существующих методов изготовления деталей сложной формы путём фрезерования из сплошных объёмных заготовок показал, что имеются большие материальные затраты, трудоёмкость, низкая производительность. Поэтому нахождение новых технологических решений, таких как, предварительное задание необходимой кривизны плоским листовым деталям путём высокотемпературной многоточечной формовки, при которой на толстолистовую заготовку при температу-

ре пластической деформации металла воздействует массив независимо перемещающихся стержней, обеспечивающих деформацию заготовки по заданным параметрам кривизны, выходит на первый план. Техническая реализация установок многоточечного формирования сложных нелинейных поверхностей из плоских заготовок обязательно требует исследования взаимовлияния параметров и свойств, пластически деформируемого материала, на систему управления многодвигательных электроприводов линейного перемещения для повышения точности формообразования. Представленная диссертационная работа посвящена решению актуальной технической задачи: разработке перспективных технических решений по созданию интеллектуальной системы управления процессом высокотемпературной многоточечной формовки листового материала из высокопрочных сплавов, обеспечивающих уменьшение материалоёмкости, а также затрат энергии на формообразование и управление электромеханическими исполнительными приводами. Не вызывает сомнения необходимость исследования технологического процесса и систем управления высокотемпературного формообразования крупногабаритных плит путем многоточечного нагружения.

4. Соответствие диссертации и автореферата паспорту специальности

Объектом исследования является технологический процесс высокотемпературного формообразования крупногабаритных плит путем многоточечного нагружения. *Предметом* исследования выступает система управления данным технологическим процессом. Тема и содержание диссертации Чжо Аунг Хтета *соответствуют паспорту научной специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)*:

– по объекту исследования – как п.1. «...автоматизация производства заготовок, изготовления деталей и сборки ...»;

– по направлению исследований, связанных с проведением исследований по оценке взаимовлияния локальных систем управления электроприводами линейных перемещений через общую нагрузку – как п. 4. «...теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация...»;

– по предмету исследования как п.15. «...теоретические основы, методы и алгоритмы интеллектуализации решения прикладных задач при построении АСУ широкого назначения (АСУТП, АСУП, АСТПП и др.)...».

Автореферат диссертации Чжо Аунг Хтета соответствует диссертационной работе по всем квалификационным признакам: по цели, задачам исследования, основным положениям, актуальности, научной значимости, новизны, практической ценности.

5. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

Основными научными и наиболее важными результатами диссертационной работы являются:

1. Анализ известных решений в области процессов предварительного формования крупногабаритных плоских изделий показал, что наиболее перспективным вариантом реализации такого процесса является процесс многоточечного формования на базе электромеханических модулей. Система управления позволяет контролировать параметры процесса формообразования при изготовлении крупных несущих деталей сложной формы.

2. Математическое описание процесса формования как объекта силового воздействия электромеханического модуля, отличительной особенностью которого является возможность учета в усилении нагрузки, воздействующей на вал двигателя, как размеров формуемого материала, так и свойств материала.

3. Имитационная модель трехточечного узла формования листового материала, позволяющая оценить взаимовлияние локальных электромеханических модулей в процессе формования, а также выявить влияние свойств материала на процесс формования.

4. Конечно-элементный анализ в среде *Femap*, выявил наиболее высокий коэффициент взаимосвязи локальных электромеханических модулей с электромеханическим модулем, осуществляющим основное формирующее воздействие, принадлежит электромеханическим модулям, располагаемым по вертикали и горизонтали от основного модуля.

Основные выводы и результаты работы теоретически обоснованы и получены автором впервые. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается тщательным анализом и оценкой принятых исходных положений, корректным использованием математического аппарата при проведении теоретических исследований, сопоставлением с результатами экспериментальных исследований и находится на уровне требований достаточном для кандидатской диссертации.

5. Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость диссертации состоит в расширении теоретических исследований построения взаимосвязанных систем управления процессом многоточечного формования профильных изделий с учетом внутренних свойств материала. Практическая значимость работы заключается в разработанной автором методике настройки нечетких регуляторов скорости и положения локальных электроприводов стержней, обеспечивающая одновременно реализацию компенсации взаимовлияния между локальными электроприводами. Результаты исследования могут быть использованы при разработке и проектировании многоточечной формообразующей установки. Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Комсо-

мольского на Амуре государственного университета при изучении курсов «Автоматизация технологических процессов и производств», «Интеллектуальные системы управления».

7. Апробация работы

Результаты работы докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях:

1. Отчетная конференция аспирантов Республики Союза Мьянма (Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2 ноября 2016 г.).
2. 47-ая научно-техническая конференция студентов и аспирантов (Комсомольск-на-Амуре, 10-21 апреля 2017г.).
3. Международная научно-практическая конференция «Электротехнические комплексы и системы» (Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, 19 октября 2017г.).
4. Всероссийская научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Научно-техническое творчество аспирантов и студентов» (Комсомольск-на-Амуре, 09-20 апреля 2018 г.).
5. Всероссийская научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Электроприводов на транспорте и в промышленности» (Хабаровск, 20-21 сентября 2018).
6. Международная мультидисциплинарная конференция по промышленному инжинирингу и современным технологиям «Far East Con 2018» (Комсомольск-на-Амуре, 2-4 октября 2018г.).

8. Полнота опубликования результатов диссертации

Научные публикации Чжо Аунг Хтета, изданные в период с 2016 по 2019 гг., соответствуют диссертационной работе и с достаточной полнотой отражают ее основные результаты и выводы. Основное содержание диссертации отражено в 10 печатных работах, из них 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК; 1 статья, индексируемая в базе Scopus; 6 публикаций в трудах и сборниках международных и региональных конференций.

9. Замечания и дискуссионные положения

Вместе с тем, работа не свободна от недостатков. В качестве замечаний следует отметить:

1. Следует отметить расхождение формулировок в тексте *положений выносимых на защиту* (стр. 7 дисс., стр. 5 автореф.), где автор указывает принадлежность полученных результатов своей работы к п. 1 и п. 15 паспорта специальности 05.13.06, и *соответствия паспорту специальности* (стр. 8...9 дисс., стр. 6 автореф.), где к уже перечисленным пунктам добавлен п. 4 паспорта этой специальности. Получается, что разработанные автором алгорит-

мы нечёткого управления для автоматической компенсации взаимовлияний формирующих стержней, не выносятся на защиту?

2. На рисунке 3.1.4 (стр. 71) Функциональная схема нечеткой взаимосвязанной системы управления для варианта трехточечного расположения стержней – обратная связь по моменту нагрузки одна на три канала управления, хотя момент нагрузки может быть разным. Каждый канал регулируется отдельно, но компенсирующее воздействие – разное. Нет пояснения в структурной схеме наличия (отсутствия) компенсирующих связей, применительно к расположению приводов в трёхстержневой системе формования.

3. Предусматривается ли при горячем формовании детали ограничение максимального усилия сервопривода и контроль его минимального усилия в зависимости от текущей температуры заготовки?

4. Представляется не совсем корректно сравнение переходных характеристик позиционирования при различной температуре заготовки, приведённых на рисунке 3.3.8 (стр.82). При классическом ПИ-регуляторе с большим перерегулированием время переходного процесса не превышает 0,1 сек., а с нечётким регулятором – на два порядка больше. Очевидно, что наличие задатчика интенсивности в этом случае обязательно. Нет рекомендаций о характере изменения скорости формования в динамике, а также наличия (отсутствия) перерегулирования.

5. Нет рекомендаций по использованию систем управления с интервальной неопределённостью по областям применения. Для малого количества деталей хорошо подходит система нечёткого логического управления, при поточном производстве правильнее использовать анализ статистических данных или обучаемые нейронные сети (См. стр. 84).

6. Автор на стр.42 ошибочно указывает, что управление синхронным серводвигателем выполнено на основе векторного управления в неподвижной системе координат $d-q$ (стр. 42). При этом оси $d-q$ связаны с ротором двигателя и вращаются вместе с ним, поэтому образуют подвижную систему координат.

7. Также в тексте диссертации имеются отдельные опечатки и неточности: Н: повтор текста (стр. 54); повтор номера рисунка (стр. 72...73); патенты в списке литературы без выходных данных (стр. 97, 98); некоторые рисунки трудно читаются (рис. 31.1. стр.76, рис. 2.2.3 стр. 46), что затрудняет их понимание и т.д.

10.Общее заключение о соответствии выполненной работы требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям

Диссертация Чжо Аунг Хтета имеет внутреннее единство и является завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований, содержится решение задачи построения

взаимосвязанных систем управления многоточечного формирования листового материала с компенсацией взаимовлияния между локальными электроприводами формирующих стержней.

Основные выводы и результаты диссертации соответствуют поставленным задачам исследований и сформулированы автором четко и ясно. Результаты, полученные диссертантом, являются вкладом в решение задачи создания научно-практических основ анализа и синтеза интеллектуальных взаимосвязанных систем управления процессом высокотемпературного формообразования крупногабаритных плит.

Считаю, что по основным критериям – актуальности, новизне научных результатов, степени обоснованности и достоверности выводов, практической значимости диссертация соответствует требованиям пп.9...14 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», а ее автор – **Чжо Аунг Хтет** – достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность).

Официальный оппонент:

Кандидат технических наук, доцент,
доцент Отделения электроэнергетики и электротехники
Инженерной школы энергетики»
федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»
Россия, 634050, г. Томск, проспект Ленина, дом 30
Тел.: 8-913-812-88-13
E-mail: kladiev@tpu.ru

 Кладиев Сергей Николаевич

Подпись Кладиева С.Н. заверяю:

Ученый секретарь Совета
Национального исследовательского
Томского политехнического университета

 О.А. Ананьева