УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по научной и
инновационной деятельности,
доктор технических наук, доцент
Бабушкин Виталий Михайлович
_____
«27» _____ 2024 г.

ОТЗЫВ
ведущей организации на диссертационную работу
Карпухина Евгения Геннадьевича
«Разработка адаптивной технологии гибки с растяжением профильных деталей авиационных конструкций на прессах с ЧПУ»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением

Актуальность темы диссертации

Известно, что процессы формообразования гибкой широко распространены в авиационной промышленности для получения разнообразных деталей из листового проката и прессованного профиля. Однако, при гибке с растяжением, очень часто возникают проблемы нестабильности результатов формообразования. Упругое пружинение заготовки после снятия деформирующих усилий постоянно изменяется, не позволяя получить заготовку, соответствующую требованиям технологической и конструкторской документации за один переход. Представленная диссертационная работа посвящена повышению точности изготовления сегментов авиационных шпангоутов, изготавливаемых гибкой с растяжением, за счет применения адаптации управляющей программы нагружения под изменяющиеся условия деформирования.

Структура и содержание работы

Диссертация объемом 131 страница состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 111 наименований и 4 приложений.

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, определена цель, и поставлены основные задачи, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту.

Входящий № 206-3694
Дата 30 МАЙ 2024
Самарский университет

В первой главе рассмотрены особенности производства сегментов шпангоута и текущее состояние технологии гибки с растяжением. Сегменты шпангоутов пассажирского самолета по текущей технологии изготавливаются путем фрезерования из плиты и профилирования гибкой-прокаткой, с последующим формированием продольной кривизны гибкой на том же оборудовании. Автором предлагается шпангоуты, фрезерованные из плиты, изготавливать из прессованного профиля гибкой с растяжением и последующим фрезерованием припуска, значительно увеличивая коэффициент использования материала. Однако при изготовлении деталей сложной конфигурации по технологии гибки с растяжением, очень часто приходится дополнительно дорабатывать технологическую оснастку и режим формообразования, что связано с разбросом механических свойств материала и условий трения.

Во второй главе проведено исследование напряженно-деформированного состояния заготовки сегмента шпангоута при гибке с растяжением, рассчитанного методом конечных элементов, использованием компьютерных моделей, созданных в программе LS-DYNA. Проведен анализ напряженно-деформированного состояния заготовки в ходе гибки с растяжением и определены величины пружинения после упругой разгрузки. Созданные в рамках диссертации компьютерные модели валидированы путем сравнения с натурным экспериментом по гибке с растяжением реального сегмента шпангоута. Разработан алгоритм для моделирования процесса гибки с растяжением прессованного профиля под реальные условия формообразования, с помощью которого возможно определить необходимую деформацию калибровки для получения требуемой формы заготовки при различных коэффициентах трения.

В третьей главе разработана методика адаптивного управления процессом формообразования гибкой с растяжением, в которой предлагается изменять в режиме реального времени управляющую программу калибровки в зависимости от текущий деформации заготовки. Автором диссертации разработаны и запатентованы система адаптивного управления процессом гибки с растяжением и модуль адаптации управляющей программы нагружения для гибочно-растяжных прессов с числовым программным управлением, позволяющие измерить деформацию и осуществить корректировку управляющей программы калибровки в режиме реального времени. В результате разработана адаптивная технология гибки с растяжением.

В четвертой главе проведена апробация разработанной адаптивной технологии формообразования в условиях авиастроительного предприятия.

При апробации технологии изготовлены два типа заготовок сегментов шпангоутов. Подтверждено снижение разброса пружинения получаемых заготовок при использовании разработанной технологии. Определены перспективы развития исследований адаптации управления процессом гибки с растяжением. Результаты диссертации внедрены на АО «Ульяновский НИАТ».

В конце диссертационной работы приведено **заключение**, в котором сформулированы результаты работы. Основные научные результаты, полученные автором соответствуют поставленным задачам и свидетельствуют о полноте их решения.

Диссертационная работа изложена технически грамотным языком. Все главы содержат важные результаты научных исследований автора и сопровождаются выводами.

Научная новизна

В ходе выполнения научных исследований, автором диссертации получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

1) Разработан алгоритм для моделирования гибки с растяжением прессованного профиля.

2) Исследовано НДС прессованного профиля при гибке с растяжением.

3) Установлено насколько влияет значение коэффициента трения между заготовкой и формообразующей оправкой на деформированное состояние заготовки.

4) Разработана новая методика адаптации программного управления гибочно-растяжным оборудованием.

Практическая значимость

Практическая значимость работы состоит в том, что применение разработанной адаптивной технологии гибки с растяжением профильных деталей авиационных конструкций позволяет сократить разброс размеров получаемых деталей и количество брака, при контролируемом формообразовании за 1 переход, без дополнительных затрат на доработку технологической оснастки и управляющих программ. Это крайне важно для повышения эффективности в условиях производства летательных аппаратов.

Обоснованность и степень достоверности полученных результатов

Достоверность результатов обеспечивается обоснованностью использованного программного продукта для теоретического анализа процесса холодной пластической деформации, корректностью поставленных

задач и подтверждается согласованием результатов теоретических исследований с экспериментальными данными.

Подтверждение основных результатов диссертации в научной печати

По результатам научных исследований, изложенных в диссертации, опубликовано 8 печатных работ, из них 4 статьи в изданиях из перечня ВАК, 1 статья Web of Science, 1 патент на изобретение, 1 свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ.

Анализ содержания диссертации, опубликованных работ, в том числе работ, опубликованных в соавторстве, показал, что все научные достижения, выносимые на защиту, выводы и рекомендации принадлежат диссертанту.

Оценка содержания диссертации

Объем и содержание диссертационной работы по степени научной новизны и практической значимости удовлетворяет требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Анализ содержания диссертации убеждает в её завершенности. Содержание диссертации изложено грамотно, в логической последовательности, принятая терминология и стиль изложения соответствует общепринятым нормам.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации и её основные положения.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные в работе научные и практические результаты рекомендуется использовать на авиационных предприятиях.

Разработанный в работе комплекс научных и технологических решений необходимо использовать при подготовке бакалавров, специалистов и магистров по направлениям 15.03.05 и 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», 24.03.04 и 24.04.04 «Авиастроение», 24.05.07 «Самолето- и вертолетостроение», а также аспирантов по специальностям 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением и 2.5.13 «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов».

Замечания по диссертационной работе

1. В работе рассмотрена адаптация управляющей программы деформирования только для прессованного профиля z-таврового сечения. Актуальным является разработка рекомендаций по адаптации для всех

основных поперечных сечений деталей, изготавливаемых гибкой с растяжением.

2. В дополнение к условиям трения, при адаптации управляющей программы нагружения, желательно учитывать механические свойства заготовок, так как разброс механических свойств влияет на полученное пружинение деталей после гибки.

3. Вопрос внедрения результатов диссертационной работы на АО «Ульяновский НИАТ» в тексте диссертации не освещен. Автор указывает о внедрении результатов только в выводах. В приложении приложен акт внедрения. Желательно было расписать внедрение результатов подробно в тексте диссертации.

4. При описании апробации указано, что была проведена оценка механических свойств заготовок сегментов шпангоутов. Желательно было описать на каких образцах и при каких условиях проводились испытания на разрывной машине.

5. Имеется ряд замечаний по оформлению диссертации, как текста, так и иллюстраций.

Указанные замечания не снижают ценность и общую положительную оценку диссертационной работы, не влияют на основные научные и практические результаты и не затрагивают основных положений, выносимых соискателем на защиту.

Заключение

Диссертационная работа Карпухина Евгения Геннадьевича представляет собой законченную, самостоятельно выполненную, научно-квалификационную работу, в которой решена актуальная научно-техническая задача, имеющая важное промышленное значение - повышение точности изготовления сегментов авиационных шпангоутов, изготавливаемых гибкой с растяжением, за счет применения адаптации управляющей программы нагружения под изменяющиеся условия деформирования.

Научная ценность работы определяется новизной результатов, полученных во время теоретических и экспериментальных исследований процесса формообразования профиля гибкой с растяжения, а практическая значимость работы - рекомендациями, изложенными в рамках адаптивной технологии гибки с растяжением.

Достоверность результатов диссертации подтверждается согласованием теоретических исследований с практикой и использованием современных методик исследования.

Цель, задачи исследования и содержания диссертационной работы соответствуют паспорту специальности 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением.

Количество и качество публикаций диссертанта отвечает п.11 и п.13 Положения о присуждении ученых степеней. Автореферат диссертации полностью отражает содержание диссертации и соответствует требованиям п.25 Положения о присуждении ученых степеней.

Представленная диссертационная работа Карпухина Е.Г. соответствует критериям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от 11.09.2021 г.). Автор диссертации заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением.

Настоящий отзыв обсужден и утвержден на заседании кафедры производства летательных аппаратов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева-КАИ» (протокол № 7 от «13» мая 2024 г.), на котором присутствовало 23 научно-педагогических работника, проголосовавших единогласно за утверждение данного отзыва.

Лица, подписавшие отзыв, выражают согласие на включение своих персональных данных в аттестационное дело соискателя Карпухина Е.Г. и их дальнейшую обработку.

Заведующий кафедрой производства
летательных аппаратов
ФГБОУ ВО КНИТУ-КАИ,
д-р техн. наук, профессор В.И. Халиулин

Доцент кафедры производства
летательных аппаратов
ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ»,
канд. техн. наук, доцент Н.М. Бодунов

Адрес: 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10
ФГБОУ ВО КНИТУ-КАИ, тел.: +7 (843) 231-03-25,
http://www.kai.ru/ E-mail: pla.kai@mail.ru

Подпись Халиулина В.И., Бодунова Н.М. заверяю. Начальник управления делопроизводства и контроля