

## ОТЗЫВ

официального оппонента к.т.н., Поворова Сергея Владимировича на диссертацию Карпухина Евгения Геннадьевича, выполненную на тему: «Разработка адаптивной технологии гибки с растяжением профилей деталей авиационных конструкций на прессах с ЧПУ» и представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.7 – Технологии и машины обработки давлением

### **Актуальность работы.**

Технологии изготовления деталей, при использовании которых сведено к минимуму влияние человеческого фактора, крайне востребованы в серийном производстве ответственных изделий авиакосмической отрасли. Одним из процессов изготовления деталей, где до сих пор влияние человеческого фактора ключевое, является формообразование гибкой с растяжением. Использование гибочно-растяжных прессов с ЧПУ, позволило деформировать детали по заранее написанной управляющей программе и выводить на промышленный компьютер оперативные данные о состоянии рабочих органов пресса. В случае, если механические свойства заготовки имеют отклонения (в рамках допусков, регламентируемых ТУ или ГОСТ на материал) или изменились условия контакта между заготовкой и формообразующей оправкой из-за выдавливания смазочного материала, оператору гибочно-растяжного пресса необходимо постоянно вносить корректировки в управляющую программу, опираясь на опыт и интуицию. Такого рода корректировки управляющих программ приводят к постоянному возникновению брака и дополнительным доводочным операциям по устранению заранее не спрогнозированного пружинения. Применение адаптивной технологии гибки с растяжением позволяет в автоматическом режиме корректировать управляющую программу деформирования в зависимости от изменений в условиях трения между заготовкой и формообразующей оправкой, исходя из заранее проработанных возможных вариантов нагружения заготовки.

В связи с этим, диссертационная работа Карпухина Евгения Геннадьевича, является актуальной.

### **Научная новизна и практическая значимость результатов исследований.**

Результаты представленные в диссертационной работе имеют научную новизну и практическую ценность. Диссертантом исследовано напряженно-деформированное состояние прессованного профиля в процессе гибки с растяжением, при изменяющихся условиях формообразования и определено влияние значения коэффициента трения между заготовкой и формообразующей оправкой на деформированное состояние заготовки. Автор разработал алгоритм для моделирования гибки с растяжением прессованного профиля в программе LS-DYNA. Предложенная автором методика адаптации программного управления

Входящий № 206-3759  
Дата 03 ИЮН 2024  
Самарский университет

гибочно-растяжным оборудованием, позволяет корректировать работу гибочно-растяжного пресса в процессе его работы на основе результатов моделирования формообразования. Использование разработанной методики позволяет обеспечить стабильный результат формообразования деталей, при изменяющихся условиях формообразования.

**Достоверность результатов** обеспечивается апробацией технологии гибки с растяжением при изготовлении сегментов шпангоута из В95оч в условиях авиастроительного предприятия. Алгоритм для моделирования процесса гибки с растяжением и методика адаптивного управления процессом формообразования гибкой с растяжением внедрены на АО «Ульяновский научно-исследовательский институт авиационной технологии и организации производства».

#### **Соответствие паспорту специальности**

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.5.7 – Технологии и машины обработки давлением, в части областей исследования:

п.1. Закономерности деформирования материалов и повышения их качества при различных термомеханических режимах, установление оптимальных режимов обработки;

п.4. Технологии ковки, прессования, листовой и объемной штамповки, а также формования и комплексных процессов с обработкой давлением, например, непрерывного литья и прокатки заготовок.

#### **Структура и содержание работы**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (111 наименований) и приложения.

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформирована цель и поставлены задачи работы.

**В первой главе** автором проведен анализ современного состояния вопроса о формообразовании профилей гибкой с растяжением. Описано оборудование, применяемое для формообразования, основные технологические схемы деформирования, а также имеющиеся в литературе и запатентованные способы совершенствования процесса гибки с растяжением. По результатам анализа описана перспективность применения при гибке растяжения профилей адаптивного изменения управляющей программы нагружения заготовки в ходе её формообразования.

**Во второй главе** представлен теоретический анализ процесса гибки с растяжением, с использованием численных экспериментов с компьютерными моделями формообразования и упругой разгрузки, выполненными в программе конечно-элементного анализа LS-DYNA. Показано, что в зависимости от величины коэффициента трения при одних и тех же траекториях деформирования, изменяется распределение тангенциальных действующих деформаций по заготовке. Автором определена зависимость величин пружинения левого и правых краев заготовки от величины смещения штока растяжных гидроцилиндров,

определяемых на этапе калибровки. Для валидации работы разработанных компьютерных моделей проведен натурный эксперимент с формообразованием заготовки в условиях производства и сравнением остаточных деформаций на настоящей заготовке с остаточными деформациями на заготовке из компьютерной модели. Предложен алгоритм для моделирования гибки с растяжением прессованного профиля в программе LS-DYNA.

**В третьей главе** представлена разработанная адаптивная технология гибки с растяжением. В основе предлагаемой технологии лежит разработанная диссертантом методика адаптации управляющей программы нагружения заготовки, основная на корректировке управляющей программы калибровки в зависимости от показателей деформации на заготовке. Для осуществления предлагаемой технологии гибки с растяжением, автором разработаны «Система адаптивного управления процессом гибки с растяжением для гибочно-растяжного прессы» и «Модуль адаптации управляющей программы нагружения для гибочно-растяжных прессов с числовым программным управлением», с получением охранных документов интеллектуальной собственности.

**В четвертой главе** представлена апробация разработанной адаптивной технологии гибки с растяжением в условиях авиастроительного предприятия. Экспериментально подтверждено снижение разброса пружинения деталей при использовании адаптивной технологии гибки с растяжением относительно действующей базовой технологии. Описаны перспективы развития исследований.

Диссертация заканчивается **заключением и списком литературы**.

По работе имеются следующие замечания:

1. В работе отсутствует расчет технико-экономической эффективности. Необходимо пояснение величины экономического эффекта от применения разработок, представленных в диссертационной работе.

2. Необходимо прояснить, возможно ли применять предлагаемую адаптивную технологию гибки с растяжением при гибке профилей, с поперечным сечением, отличающимся от z-таврового сечения.

3. Отсутствуют данные о выборе ПО для компьютерного моделирования. По какой причине была выбрана программа LS-DYNA?

4. Рассматривалось ли проведение формообразования заготовки по схеме Р-И-Р в свежезакаленном состоянии? По какой причине выбрано отожженное состояние заготовки?

Указанные замечания не снижают ценность и высокий уровень диссертационной работы и не влияют на общую положительную оценку.

Основное содержание диссертации отражено в 4 опубликованных статьях, входящих в перечень ВАК РФ, 1 статье, индексируемой в международной базе Web of Science. Автором по теме диссертации получен 1 патент на изобретение и 1 свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ. Следует отметить, что в 3 статьях ВАК РФ диссертант является ведущим автором, а в

патенте на изобретение и свидетельстве о государственной регистрации программы на ЭВМ является патентообладателем.

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

**Заключение.** Диссертационная работа Карпухина Евгения Геннадьевича является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей важное промышленное значение для развития страны - повышение точности формы и размеров сегментов авиационных шпангоутов, путем обеспечения стабильного результата формообразования деталей гибкой с растяжением без применения дополнительных трудоемких доводочных операций.


Представленная диссертационная работа по актуальности, достоверности, научной новизне и практической значимости результатов удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор Карпухин Евгений Геннадьевич заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.7 – Технологии и машины обработки давлением.

Официальный оппонент:

Кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Оборудование и  
технологии прокатки» МГТУ им. Н.Э. Баумана

Поворов С.В.

Поворов Сергей Владимирович  
105005, г. Москва,  
2-я Бауманская улица, 5, стр.4  
Тел. 8-499-263-67-70  
e-mail: [povorovs@bmstu.ru](mailto:povorovs@bmstu.ru)

  
21.05.2024



**ВЕРНО:**   
ВЕДУЩИЙ СПЕЦИАЛИСТ ПО ПЕРСОНАЛУ  
УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ  
И АДМИНИСТРИРОВАНИЯ  
НАЗАРОВА О.В.  
Тел. 8-499-263-60-48