



## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова»  
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

Россия, Санкт-Петербург, 190005, 1-я Красноармейская ул., д.1. Тел.: (812) 316-2394, факс: (812) 490-0591,  
e-mail: komdep@bstu.spb.su, www.voenmeh.ru  
ИНН 7809003047

\_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

### «УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ БГТУ «ВОЕНМЕХ»

им. Д.Ф. Устинова, д.т.н.

К.М. Иванов

«04» 02 2021 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова» на диссертацию Мироненко Владимира Витальевича «Исследование процессов формообразования эластичной средой элемента типа "подсечка" на листовых заготовках подвижными элементами оснастки», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов»

### Актуальность работы

Листовая штамповка является одной из основных разновидностей обработки металлов давлением, которая позволяет получать плоские и пространственные детали из самых разнообразных материалов и самых разнообразных конфигураций. Тонкостенные конструкции из листа получают широкое применение в самых разнообразных изделиях

машиностроения. Высокие эксплуатационно-прочностные качества тонкостенных деталей и узлов из листа при минимальном весе последних предопределяют еще большее их применение в изделиях машиностроения. В связи с этим экономичное и высокопроизводительное производство качественных тонкостенных деталей, особенно сложных форм, является одной из важных проблем современного машиностроения. Большое значение приобретает совершенствование существующих и разработка новых процессов штамповки деталей из листа.

Процессы листовой штамповки эластичной и жидкостной средой вследствие их универсальности, удобства осуществления, простоты используемого при этом инструмента, а также исключительно больших технологических возможностей обеспечивают значительное снижение себестоимости, повышение качества и надежности промышленной продукции не только при массовом, но и серийном, мелкосерийном и опытном производстве. Можно с уверенностью сказать, что существование современного машиностроения практически немыслимо без широкого применения процессов листовой штамповки эластичными и жидкостными средами и в первую очередь процессов штамповки резиной и жидкостью.

Формообразование деталей с разными конструктивными элементами как в плоскости стенки, так и на бортах приводит к появлению дефектов. Наиболее распространённым элементом жесткости и элементом, обеспечивающим стыковку деталей при сборке, является подсечка. Остро стоит вопрос производства листовых деталей с элементами «подсечка». Для устранения дефектов «недоштамповка» и «гофрообразование» на таких деталях используется ручная доводка деталей с большой трудоемкостью. В результате доводки детали в одном месте уходит контур всей детали и, как результат, приходится доводить всю деталь. Также при ручной доводке теряется смысл учета пружинения в оснастке, так как при доводке деталь в районе подсечки полностью копирует форму с оснастки, имеющей номинальные размеры.

Данная проблема сохраняется даже на современном оборудовании с большим давлением (100 МПа и более). Основная проблема заключается в возникновении избыточной жесткости в районе вершины при формообразовании «подсечки» эластичной средой.

### **Научная новизна**

Предложен новый способ формообразования с применением подвижного прижима и методики проектирования комплекта оснастки для формообразования разного типоразмера подсечек. Данная технология позволяет осуществить перевод усилия эластичной среды на подвижный прижим, который будет передавать повышенное усилие локально на проблемную зону и обеспечивать в ней условия напряжено-деформированного состояния близкого к условиям всестороннего сжатия. Максимальный эффект от подвижного прижима может быть получен при осуществлении его движения во время формообразования. Перемещение подвижного прижима при окончательной формовке обеспечивает достаточное силовое воздействие на деформируемую зону детали для исключения «недоштамповки» и «гофрообразования».

### **Теоретическая и практическая значимость**

Разработаны новые методики расчета для формообразования подсечек и процессов их бездефектного формообразования. Также разработаны теоретические основы анализа и выбора параметров дополнительных элементов оснастки для бездефектного формообразования подсечек. Кроме того, разработан способ формообразования, обеспечивающий устранение дефектов типа «недоштамповка» и «гофрообразование», появляющихся на листовых деталях в зоне подсечек, а также расширен диапазон допустимых типоразмеров подсечек. Сокращена трудоемкость изготовления деталей с подсечками при обеспечении требуемого качества поверхности и достижением заданной точности. В свою очередь появляется возможность

формообразования деталей сложной формы с подсечками из труднодеформируемых сплавов без нагрева.

### **Степень обоснованности и достоверности результатов**

Научные положения и выводы, приведенные в работе, подтверждается почти точным совпадением результатов расчётов по предлагаемым методикам расчета, с результатами имитационного моделирования в конечно-элементом комплексе и натурных экспериментов. Проведение натурных экспериментов на разных деталях и из разных материалов показывает хорошую верификацию результатов предлагаемых расчетов, конечно-элементного моделирования и натурных экспериментов.

### **Структура и содержание работы**

Диссертационная работа имеет следующую структуру: введение, четыре главы, заключение, список литературы. Полный объем работы (диссертации) составляет 208 страниц, содержит 11 таблиц, 166 рисунков, 100 наименований списка ссылочной литературы.

В **введении** обоснована актуальность темы исследования и описана степень разработанности, определены цели и основные задачи работы, отражена научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

В **первой главе** рассмотрены проблемы, связанные с формообразованием подсечек. Выявлено, что наиболее серьезные проблемы возникают при формообразовании боковых подсечек. Рассмотрены существующие математические модели, методы и технологии формообразования, которые предложили Е.И. Исаченков, Н. А. Ефимов, Ю.В. Замараева, Ю.Н. Логинов, И.Ю. Захарьев, С.А. Аксенов, С.Б. Марьин, В.В. Куриный, С.А. Желтиков, С.В. Сурудин, Я.А. Ерисов. Изучение существующих работ авторов, компетентных в направлении исследования, позволило сформулировать цель и задачи научно-квалификационной работы (диссертации).

**Во второй главе** проанализировано применение методик, описанных в первой главе, для конкретных трех деталей. Было показано, что данные методики применимы для деталей, которые входят в рекомендуемую зону формообразования ОСТ 1.52468-80. На примере детали №2 и детали №3 (которые не входят в рекомендуемую зону формообразования) была показана невозможность использования методик ОСТ 1.52468-80.

В результате: разработано уравнение приводящей поверхности подвижного прижима для правой и левой частей номограммы, которые выходят за рекомендуемый диапазон; разработана методика расчета утонения в зоне подсечек; разработана методика расчета потребной площади приводящей поверхности подвижного прижима исходя из параметров подсечки и характеристик оборудования для формообразования; для правой части номограммы разработана методика расчета для определения потребного давления на первом переходе.

**В третьей главе** для детали №2 и детали №3 были спроектированы геометрические модели оснасток с учетом данных, рассчитанных в главе 2. Проведено конечно-элементное моделирование процесса формообразования с для детали №2 и детали №3. По результатам моделирования для детали №2 и детали №3 показано, что предлагаемая методика по расчету утонения, деформаций (общие деформации, вычисляемые из формулы длины вектора), напряжений (по энергетической теории прочности) и расчета потребного давления для первого перехода (необходимо только для детали №3) имеет минимальные различия (не более 5%) с моделированием формообразования методом конечных элементов, т.е. предлагаемая методика расчета подтвердила свою адекватность при сравнении с методом конечных элементов.

**В четвертой главе** рассматриваются натурные эксперименты по предложенным методикам расчета. В результате натурных экспериментов были изготовлены деталь №2 и деталь №3, которые по имеющимся нормативным документам невозможно изготовить без дефектов. Также были

проведены эксперименты на производственной установке QFC 1.2x3-1000 без подвижного прижима, которые показали, что наращивание давления при формообразовании такого рода подсечек не эффективно. Единственный вариант формообразования таких деталей – использовать предлагаемую технологию с подвижным прижимом.

Используя фотограмметрию и теорию линз, были проанализированы деталь №2 и деталь №3. Разница между результатами, рассчитанными аналитически по предлагаемой методике, и натурным экспериментом составляет не более 1,5 % процента, так что результаты можно считать идентичными. Также натурные эксперименты подтвердили, что использование подвижного прижима снижает потребное давление формообразования по сравнению с технологиями формообразования без него (при давлении 100 МПа на прессе QFC 1.2x3-1000 – деталь отформована с дефектами, при давлении 30 МПа на разработанной лабораторной установке – деталь получена без дефектов).

Для подтверждения работоспособности и перспективности технологии предлагаемая методика расчета и проектирования оснастки, была опробована на детали из труднодеформируемого сплава ОТ-4. В результате, по предложенной в главе 3 технологии, за два перехода с максимальным давлением 20,5 МПа была отформована деталь из титанового сплава без использования нагрева.

### **Замечания и вопросы**

1. В работе не освещена возможность использования данной технологии для срединной «подсечки»;
2. Не указаны сценарии при которых может быть необходима вариация  $\omega_1$  и  $\omega_2$  в уравнении поверхности подвижного прижима.

Сделанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы.

## **Заключение**

Диссертация Мироненко Владимира Витальевича является законченной научно-квалификационной работой. Тема работы актуальна, диссертация обладает научной новизной, научной и практической значимостью. Все утверждения и выводы корректны и обоснованы.

Предложено решение проблемы, связанное с формообразованием подсечек на листовых деталях, основанное на использовании дополнительного элемента оснастки, который позволяет локализовать деформации в местах появления дефектов и повысить формообразующее усилие. В качестве такого дополнительного элемента оснастки был предложен подвижный элемент, названный подвижным прижимом. Предложена уникальная форма данного элемента оснастки, которая позволяет ему перемещаться при формообразовании и оказывать воздействие на место образования дефектов на детали. Со стороны эластичной среды подвижный прижим имеет интегральную форму, обеспечивающую необходимую передачу усилия под углом на деталь. Основные результаты работы опубликованы в ведущих российских и иностранных журналах, а также прошли апробацию на российских и международных конференциях. Автореферат и публикации соответствуют содержанию диссертационной работы.

Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с требованиями ГОСТ 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а также п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., в действующей редакции. Полученные научные результаты соответствуют паспорту специальности 05.07.02 –

«Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов» (технические науки).

Автор диссертации Мироненко Владимир Витальевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов».

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры А2 «Технология конструкционных материалов и производства ракетно-космической техники» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», протокол заседания №02 от 02.02.2020 г.

Игнатенко Виталий Владимирович,  
кандидат технических наук, доцент,  
проректор по экономике и развитию,  
заведующий кафедры  
«Высокоэнергетические устройства  
автоматических систем», Факультета "Е"  
Оружие и системы вооружения

*Игнатенко ВВ*

Андрюшкин Александр Юрьевич,  
кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедры «Технология  
конструкционных материалов и  
производства ракетно-космической  
техники», Факультета "А" Ракетно-  
космической техники

*Андрюшкин АЮ*

Ремшев Евгений Юрьевич, кандидат  
технических наук, доцент, доцент кафедры  
«Высокоэнергетические устройства  
автоматических систем», Факультета "Е"  
Оружие и системы вооружения

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Балтийский государственный  
технический университет «ВОЕНМЕХ»  
им. Д.Ф. Устинова», 190005, г. Санкт-  
Петербург, ул. 1-я Красноармейская, 1.

Телефон: +7 (812) 316-23-94

E-mail: [komdep@bstu.spb.su](mailto:komdep@bstu.spb.su)

