

В диссертационный совет Д212.182.03  
при ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»  
г. Орел, Наугорское шоссе, д.29

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Князева Ярослава Олеговича

«Разработка технологии штамповки поковок компрессорных лопаток авиационных газотурбинных двигателей из титанового сплава», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.09. «Технологии и машины обработки давлением».

### **Актуальность работы.**

Повышение конкурентоспособности и эффективности производства являются одной из наиболее важных задач, стоящих перед современным машиностроением. Совершенствование технологических процессов изготовления поковок методами пластического деформирования позволяет повысить коэффициент использования металла (КИМ) и снизить себестоимость, что особенно важно для авиационного машиностроения, где существует ряд однотипных деталей, сложных и трудоемких для производства. Типичными представителями таких деталей являются лопатки компрессора высокого давления. Указанные лопатки имеют, как правило, значительный перепад поперечных сечений на переходе перо-замок и весьма небольшую длину. В связи с этим, использовать стандартные заготовительные процессы для изготовления таких лопаток нерационально, поскольку, такие процессы требуют либо большого количества технологических переходов, либо вообще неосуществимы. В связи с этим, значительный практический и научный интерес представляет рассмотренный в диссертации способ формирования заготовки лопатки путем комбинирования процессов выдавливания и высадки в закрытом штампе с разъемными матрицами. Применение штампа с разъемными матрицами позволило отказаться от штамповочных уклонов, а поскольку, предложено использовать компенсатор в виде продолжения перьевой части поковки, то становится возможным использовать кривошипные горячештамповочные прессы, не опасаясь их заклинивания. Однако, отсутствие обоснованной методики инженерных расчетов технологического регламента процесса изготовления заготовок лопаток и экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния поковок при осадке сдерживает практическое применение данного процесса. Поэтому изучение закономерностей технологии изготовления компрессорных лопаток с применением комбинирования процессов выдавливания и высадки является актуальной задачей.

**Научная новизна работы** заключается в изучении напряженно-деформированного состояния заготовки компрессорной лопатки в процессе

высадки в закрытом штампе с компенсатором с учетом истечения металла в перьевую часть поковки; исследовании влияния геометрических размеров и коэффициента трения на удлинение перьевой части поковки, а также получении математической зависимости, позволяющей рассчитать исходные геометрические размеры заготовки для выполнения процессов выдавливания и осадки поковки.

**Достоверность результатов** определяется корректной постановкой задачи исследования, обоснованными допущениями, использованием современного программного обеспечения, а также согласованием результатов исследования с их экспериментальной проверкой.

### **Оценка содержания диссертации**

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка использованных источников из 137 наименований, включает 122 страницы машинописного текста, содержит 45 рисунков и 12 таблиц.

*Во введении* обоснована актуальность темы, сформулирована цель работы.

*В первом разделе* рассмотрены современные способы изготовления компрессорных лопаток и выделены проблемы, возникающие при изготовлении поволоков лопаток небольшой длины со значительным перепадом площадей поперечного сечения. Рассмотрены основные заготовительные процессы, применяемые при горячей штамповке. Подробно рассмотрены свойства титановых сплавов, особенности их деформирования и возможные дефекты, возникающие при неправильных технологических режимах обработки, также отмечается опасность перегрева (в том числе возникающего при деформационном разогреве), вызывающего ухудшение структуры материала. В разделе сформулированы задачи исследования.

*Во втором разделе* приводится анализ применения метода конечных элементов для решения задач обработки металлов давлением, подробно рассмотрена программа QForm и ее применение при решении задач пластической деформации, ограничения, вводимые в данную программу, влияющие на точность получаемых результатов. В разделе рассмотрена методика проведения исследования в программе QForm. Исследованием установлено, что квадратную в плане поковку можно заменить на осесимметричную, что позволило повысить скорость расчетов, поскольку появилась возможность проводить исследование в 2-х мерном виде, а не в 3-х мерном, как это требовалось для квадратного в плане замка поковки.

*В третьем разделе* приводится исследование зависимости удлинения перьевой части поковки от ее геометрических параметров и коэффициента трения. В качестве изучаемого параметра рассмотрено отношение удлинения перьевой части поковки от первоначальной длины пера при выполнении выдавливания. В диссертации изучено влияние на относительное удлинение следующих параметров перьевой части поковки: первоначальной длины перьевой части, радиуса скругления дна матрицы, радиуса скругления поковки на переходе перо-замок, отношение площади

поперечного сечения замка к площади поперечного сечения пера, угла наклона перьевой части, степени деформации, коэффициента трения. Выявлен фактор, оказывающий наибольшее влияние на относительное удлинение пера (первоначальная длина перьевой части), и, относительно него, были введены поправочные коэффициенты, учитывающие влияние других факторов, что позволило вывести математическую зависимость, по которой можно рассчитать первоначальные размеры заготовки. В разделе приведены результаты экспериментальных исследований.

**В четвертом разделе** представлена, разработанная автором, математическая модель процесса штамповки компрессорных лопаток со значительным перепадом площадей поперечного сечения с использованием заготовительных переходов технологии выдавливания и высадки, приведен инженерный метод расчета заготовки по переходам от окончательной поковки к исходной заготовке. В разделе приведена блок-схема математической модели, позволяющая наиболее быстро и эффективно рассчитывать геометрические параметры поковки по технологическим переходам.

**В заключении** содержатся основные результаты и выводы по выполненной работе.

Содержание автореферата полностью отражает содержание диссертационной работы.

**Практическая значимость работы** состоит в том, что автором предложена и разработана новая технология производства поволоков компрессорных лопаток небольшой длины со значительным перепадом площадей поперечного сечения, а также предложена методика расчета размеров заготовки лопаток по технологическим переходам.

#### **Реализация работы**

Результаты работы переданы для внедрения на ОАО «ММП им. Чернышева»

#### **Апробация работы и публикации**

Материалы диссертационной работы докладывались на международных конференциях, указанных в автореферате, а также на научных семинарах по месту выполнения диссертации. По теме диссертации опубликовано 6 статей и материалов конференций, в том числе, 3 статьи в изданиях перечня ВАК.

#### **Замечания по работе**

В качестве замечаний по диссертационной работе следует отметить:

1. В работе не приводится конкретная информация о недостатках базовой (исходной) технологии изготовления компрессорных лопаток и, соответственно, необходимость разработки новой технологии;
2. Параметры «K» на стр. 39, 81, 96 и «Z» на стр. 71 и 95 имеют различные смысловые назначения;
3. В работе не приводится расчет экономической эффективности предложенной автором технологии изготовления поволоков

- компрессорных лопаток, включающий увеличение КИМ, производительности и фактических затрат на инструмент;
4. Экспериментальные исследования (раздел 3.13) автором проведены на свинцовых образцах, однако, в разделе ничего не говорится о достоверности и адекватности результатов исследования рассматриваемым в работе реальным заготовкам из титанового сплава;
  5. В диссертации отсутствует информация, подтверждающая передачу разработанных автором рекомендаций на предприятия для практического использования;
  6. По тексту диссертации (стр.8,9,11,26,28,30,33,37,42,49,67,73,75,76,92, 112) и автореферата (стр.3,4,5,14,15) имеются грамматические, стилистические ошибки, пропуски слов и опiski;

Отмеченные замечания не снижают общей оценки представленной работы, которая является законченным исследованием, выполненным на современном научно-техническом уровне, и представляющим научно обоснованные технологические разработки, обеспечивающие решение важных прикладных задач.

#### **Заключение по диссертационной работе**

Оценивая работу в целом, следует отметить, что автором проделана достаточно большая работа по исследованию технологических закономерностей формирования методами пластического деформирования заготовок для изготовления компрессорных лопаток авиационных двигателей с обеспечением увеличения КИМ по сравнению с действующим процессом их производства.

Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор, Князев Ярослав Олегович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.09 – «Технологии и машины обработки давлением».

Официальный оппонент,  
главный специалист  
ОАО «Центральное конструкторское  
бюро аппаратостроения»,  
канд.техн.наук, доцент



В.А. Булычев

Подпись В.А. Булычева заверяю

Заместитель генерального директора  
ОАО ЦКБА по управлению персоналом  
и социальному развитию



А.И. Мальцев

10.09.2014г.

Булычев Владимир Александрович  
ОАО «Центральное конструкторское бюро аппаратостроения»  
Тел. 89109486508

300034 Россия г.Тула, ул. Демонстрации, 36