

В диссертационный совет Д 212.125.16
на базе ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»
121552, г. Москва, ул. Оршанская, д.3

ОТЗЫВ

Официального оппонента Гладкова Юрия Анатольевича на диссертационную работу Головкина Сергея Алексеевича «Повышение размерной точности штамповок лопаток компрессора ГТД из титанового сплава ВТ6 и стойкости штампового инструмента за счет совершенствования технологического процесса штамповки», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением

Актуальность темы работы

Изготовление деталей газотурбинных двигателей (ГТД) из титановых сплавов методами горячей объемной штамповки широко распространено. И в большинстве случаев сопряжено с относительно невысокой стойкостью штампового инструмента. Лопатки компрессора являются наиболее массовыми деталями в составе ГТД вместе с тем имеют сложную геометрическую форму. Качество и надёжность лопаток закладываются уже на начальных стадиях их производства – штамповке заготовок. Поэтому наиболее предпочтительным с точки зрения стабильности получения заданной структуры и свойств является изотермическая штамповка. Но также этот метод отличается достаточно высокой стоимостью штампов из-за применения труднообрабатываемых жаропрочных сплавов для их изготовления. В настоящее время в условиях высокой конкуренции на рынке производства газотурбинной техники важным являются показатели экономической эффективности производства. Повышения данных показателей можно добиться путем снижения металлоемкости и общей трудоемкости изготовления деталей, особенно таких как лопатки компрессора.

Поэтому совершенствование технологического процесса изготовления заготовок лопаток компрессора ГТД из сплава ВТ6 с целью повышения точности и уменьшением припусков под дальнейшую механическую обработку, с

сохранением или снижением общей себестоимости процесса производства является актуальной.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- разработан метод получения регламентированной ультра мелкозернистой структуры в двухфазном титановом сплаве путем интенсивной пластической деформации при изотермическом выдавливании по режимам, обеспечивающим протекание динамической рекристаллизации;
- установлена регрессионная зависимость, связывающая параметры процесса (коэффициент вытяжки, скорость деформирования и температура деформации) изотермического выдавливания и размер, получаемого в результате, зерна в титановом сплаве ВТ6 при динамической рекристаллизации;
- установлено, что при уменьшении размеров зерна в титановом сплаве ВТ6 в 2 раза напряжение течения при температуре $T = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ снижается на 42 %.

Достоверность проведенных исследований и полученных научных результатов подтверждена экспериментами.

Практическая ценность работы:

- разработан способ получения заготовок с регламентированной структурой под дальнейшую изотермическую штамповку методом изотермического выдавливания (Способ выдавливания малопластичных материалов и устройство для его осуществления защищены патентом RU №2637451);
- разработаны технологические режимы изотермической штамповки, обеспечивающие уменьшение сопротивления деформации штампуемого материала, повышение стойкости штамповой оснастки при изотермической штамповке и повышение размерной точности штамповок лопаток ГТД (Способ изготовления штамповок лопаток из титановых сплавов защищены патентом RU №2614294).
- разработан штамп для получения заготовок дисков с лопатками из титанового сплава методом изотермической штамповки (Изотермический штамп для получения дисков с лопатками защищены патентом RU №142904);

- результаты диссертационной работы используются при разработке технологических процессов штамповки заготовок лопаток компрессора ГТД из титанового сплава ВТ6 в ПАО «ОДК - Сатурн».

- разработанные по результатам исследований математические модели, используются в учебном процессе на кафедре «Мехатронные системы и процессы формообразования» РГАТУ им. П.А. Соловьева.

Результаты диссертации могут быть использованы в различных отраслях промышленности, таких как авиастроение, военно-промышленной отрасли нашей страны, а также могут быть внедрены учебный процесс технических ВУЗов.

Степень достоверности результатов обеспечена корректностью постановки задач, применением известных математических методов, обоснованным использованием допущений и ограничений при выводе теоретических зависимостей и подтверждается согласованием результатов теоретических исследований с экспериментальными данными, полученными как лично автором, так и другими исследователями. Оценка параметров механического поведения материалов проведена в соответствии с требованиями стандартов. Анализ пластической деформации титанового сплава ВТ6 проводили с использованием конечно-элементного комплекса QForm 3D.

Принятые в работе допущения и ограничения обоснованы и отражены в полном объеме.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением. Соответствует п. 1 – «Исследование и расчет деформационных, скоростных, силовых, температурных и других параметров разнообразных процессов обработки металлов, сплавов и композитов давлением»; п. 2 – «Исследование процессов пластической деформации металлов и композитов с помощью методов физического и математического моделирования»; п. 3 – «Исследование структуры, механических, физических, магнитных, электрических и других свойств металлов, сплавов и композитов в

процессах пластической деформации»; п. 4 – «Оптимизация процессов и технологий обработки давлением для производства металлопродукции с заданными характеристиками качества. Математическое описание процессов пластической деформации металлов, сплавов и композитов с целью создания математических моделей, способов, процессов и технологий».

Личное участие автора в получении результатов диссертации состоит в:

- в постановке и формулировании задач диссертационной работы;
- в подготовке материалов и постановке экспериментов по изотермическому выдавливанию по различным режимам заготовок из титанового сплава ВТ6;
- в подготовке образцов и проведении испытаний на универсальной испытательной динамической машине «LABTEST 6.125H.50»;
- анализе и обобщении полученных экспериментальных данных и формулировании выводов по ним;
- проектировании технологии высокопроизводительной штамповки лопаток компрессора с малым припуском, обеспечивающей повышенную стойкость штампового инструмента.

Замечания по диссертационной работе:

1. На странице 42 указано, что для моделирования выбран коэффициент трения 0,2, но не указано какой закон трения будет использован. Не приведено обоснование, почему взято значение 0,2.

2. На страницах 70-71 делается заключение о равномерном распределении скорости деформации как по всему объему, так и по очагу деформации, что противоречит значениям, приведенным на рис. 3.9.

3. Из описания экспериментального исследования микроструктуры в п.3.4. и рис. 3.17 не ясно на какой глубине заготовки делались образцы. Не раскрыт вопрос, есть ли отличия в микроструктуре по центру и в периферийных слоях выдавленного стержня.

4. Условия эксперимента на испытательной машине (стр. 85), а именно, скорость выдавливания 0,1 мм/мин, не соответствуют условиям моделирования, где скорость задана 0,1 мм/сек (стр. 62).

5. Полученные экспериментальные кривые упрочнения титанового сплава ВТ6 после изотермического выдавливания (рис. 3.25) имеют пересечения (например, кривая 2 и 3), что противоречит монотонности изменения свойств материала.

6. Вывод на стр. 89 о минимуме сопротивления деформированию в варианте с $T=800$ °С, $\lambda=7.84$, $V=0.1$ мм/с вызывает сомнение, так как при тех же параметрах λ и V , но с более высокой температурой $T=930$ °С можно прогнозировать более низкое сопротивление деформации (косвенно подтверждается в вариантах №№5 и 6, рис.3.25).

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки представленной диссертационной работы.

Заключение

Работа является законченной, выполненной автором самостоятельно на достаточном техническом уровне. В диссертации Головкина Сергея Алексеевича представлены новые научно обоснованные технические решения задач из области обработки металлов давлением, заключающиеся в повышении размерной точности штамповок лопаток компрессора ГТД из титанового сплава ВТ6 и стойкости штампового инструмента за счет совершенствования технологического процесса штамповки на основе разработанной математической модели зависимости размера зерна в титановом сплаве ВТ6 от параметров процесса изотермического выдавливания и имеет существенное значение для развития российского авиадвигателестроения.

Содержание автореферата полностью передает основные положения диссертации.

В заключение следует отметить, что диссертационная работа актуальна, обладает научной новизной, практической ценностью и соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней»,

утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Головкин Сергей Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением.

Доцент каф. «Технологии
обработки давлением», к.т.н.

Ю.А. Гладков

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», адрес: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Телефон +7 (499)263-69-01, E-mail: gladyuri@yandex.ru.

Подпись Гладкова Юрия Анатольевича удостоверяю.



/ А.Г. Матвеев /

ЗАМ. НАЧ УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ

ТЕЛ: 8499-263-67-69