

«УТВЕРЖДАЮ»

Исполняющий обязанности директора
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Институт машиноведения
им. А.А.Благонравова РАН

д.т.н.

А.В. Рагуткин

2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН
на диссертационную работу Ларионовой Ольги Евгеньевны
«Вязкопластическое деформирование диска из жаропрочного никелевого
сплава в процессе изотермической раскатки»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 1.1.8 - Механика деформируемого твердого тела

Актуальность темы. Диски газотурбинных двигателей являются одним из важнейших критически важных элементов, обеспечивающих надежность двигателей. В настоящее время при изготовлении дисков газотурбинных двигателей широко используется процесс изотермической раскатки. Задание и реализация параметров процесса раскатки и определение параметров материала в полученной после раскатки заготовке диска во многом определяет возможность достоверного прогнозирования ресурса дисков газотурбинных двигателей. В настоящее время расчет процесса раскатки основан на достаточно простых моделях деформирования материала, не позволяющих учесть многообразие эффектов, возникающих при формообразовании различных деталей при раскатке. В связи с этим важна разработка научно обоснованной модели деформирования материала, учитывающей влияние сложного знакопеременного нагружения и скорости деформации при моделировании процесса раскатки. Это подтверждает актуальность рассматриваемой диссертационной работы.

Цели и задачи диссертационной работы. Целью настоящей диссертационной работы является разработка модели вязкопластического деформирования жаропрочного никелевого сплава в процессе изотермической раскатки и расчет напряженно-деформированного состояния диска. Для достижения цели, сформулированной в работе, соискателем определены основные задачи, последовательно решаемые в ходе исследования. Стоит отметить, что их решение достигается за счет рационального сочетания экспериментальных методов и компьютерного моделирования, что обеспечивает соответствие диссертации современному научно-техническому уровню.

Структура и содержание диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников и четырех приложений, изложена на 141 странице. Структура диссертации и содержание выводов логично отражает последовательность решения поставленных соискателем задач.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цель и задачи исследования, научная новизна работы, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, достоверность результатов, апробация работы, а также положения, выносимые на защиту. Отмечен личный вклад соискателя в исследованиях, результаты которых изложены в диссертационной работе.

В первой главе проанализированы технологические особенности процесса раскатки заготовки диска, состоящие в том, что в материале возникает сложное напряженно-деформированное состояние при высоких температурах и при знакопеременных нагрузках. Поэтому возникает необходимость модификации существующих моделей, описывающих большие пластические деформации при сложном термомеханическом нагружении, с возможностью применить эту модель в расчетном МКЭ-комплексе.

Вторая глава представляет аналитический обзор различных моделей вязкопластического деформирования, учитывающих изотропное и трансляционное упрочнение, эффекты скорости деформации и температуры. Наибольший практический интерес, по мнению автора, представляет модель В.С. Бондаря, основанная на теории течения при комбинированном упрочнении и учитывающая различные типы неупругого деформирования. Отмечено, что для учета переменных скоростей деформирования модель вязкопластического деформирования В.С. Бондаря необходимо несколько модифицировать.

Третья глава посвящена модификации модели вязкопластического деформирования и обработке большого набора экспериментов по деформированию жаропрочных сплавов с целью надёжного определения параметров материальных функций, входящих в разработанную модель вязкопластического деформирования, учитывающую влияние температуры, скорости деформации и знакопеременности нагрузки.

Содержание **четвертой главы** связано с реализацией разработанной модели вязкопластического деформирования в программном комплексе, ориентированном на проведение расчетов раскатки дисков. Хотя в исходном и конечном состояниях заготовка и диск являются осесимметричными, но сам процесс раскатки существенно несимметричный, что осложняет его моделирование. Основным полученный результат, описанный в четвёртой главе, состоит во внедрении разработанной модели вязкопластического деформирования в программный комплекс, основанный на методе конечных элементов.

В **пятой главе** описаны результаты моделирования процесса раскатки диска. Проведено сравнение расчетной и экспериментальной геометрии диска в процессе и после окончания изотермической раскатки диска. Подтверждено качественное и количественное (расхождение в пределах 10%) соответствие по геометрическим характеристикам, что подтверждает адекватность разработанной модели, правильность определения параметров материальных функций и адекватность используемого программного комплекса.

Заключение содержит основные выводы, которые могут быть использованы другими исследователями, занимающимися компьютерным моделированием процессов технологического деформирования жаропрочных сплавов.

В **Приложениях** представлены два акта о внедрении результатов диссертационной работы О.Е. Ларионовой в учебный процесс в Московском политехническом университете и в АО «Объединённая двигателестроительная корпорация», а также два кода вычислительных программ, позволяющих использовать предложенную модель вязкопластического деформирования при проведении расчетов процесса раскатки дисков газотурбинных двигателей.

Научная новизна полученных результатов. Научная новизна представленных в диссертации результатов состоит в разработке новой модели

вязкопластического деформирования жаропрочных никелевых сплавов, учитывающей влияние скорости деформации на процессы сложного знакопеременного деформирования жаропрочных сплавов, а также в проверке эффективности модели в экспериментальных исследованиях никелевых сплавов и нержавеющей стали при высоких температурах.

Достоверность полученных результатов определяется грамотным и объемным экспериментом по одноосному растяжению и сжатию, проведенным на большом числе образцов, что дало автору возможность провести апробацию своей модели, а также сопоставлением геометрических характеристик диска из жаропрочного никелевого сплава, изготовленного путем раскатки, с расчетными характеристиками, полученными с использованием предложенной модели.

Практическая ценность работы не вызывает сомнений, поскольку связана с подтвержденной возможностью применить комбинированный конечно-элементный комплекс для расчета процесса изотермической раскатки жаропрочных дисков при знакопеременном нагружения и переменной скорости деформации.

Оценка диссертации. Диссертация написана достаточно подробно и хорошо иллюстрирована схемами и графиками. По содержанию диссертации можно сделать следующие замечания:

1. Обращает на себя внимание излишняя подробность в описании технологии изготовления дисков, что не относится к выбранной специальности 1.1.8 и не является результатом работы автора.

2. В обзоре моделей вязкопластического деформирования материала следовало упомянуть подход, описывающий возможность возникновения неустойчивости пластического формоизменения (характерного, правда, в основном для глубокой вытяжки тонколистовых изделий).

3. Из диссертационной работы не совсем ясно, какие допущения сделаны при создании модели вязкопластического деформирования материала в процессе раскатки диска.

4. В процессе раскатки диска могут возникать наиболее опасные дефекты типа поверхностных трещин. Условия их возникновения следует понимать и исключать при задании режима раскатки.

5. Глубокая пластическая деформация вызывает текстурную анизотропию. Описанию подобных явлений следует уделить особое внимание, хотя они и учитываются в моделях типа трансляционного упрочнения.

6. Эксперименты проведены в условиях одноосного нагружения. Достаточно ли таких экспериментов для выявления особенностей деформирования материала дисков при сложном нагружении, как это имеет место при раскатке дисков?

7. Корректно ли допущение изотермического нагружения материала диска в процессе раскатки? Как может повлиять нарушение этого допущения на полученные результаты исследования и выводы?

8. Оценивался ли уровень остаточных напряжений в материале дисков, возникновение которых возможно при раскатке дисков?

Сделанные замечания не отражаются, однако, на положительном решении по диссертации.

Заключение. Диссертационная работа Ларионовой Ольги Евгеньевны является законченной научно-исследовательской работой, в которой на современном научно-техническом уровне разработана новая модель вязкопластического деформирования жаропрочных никелевых сплавов, учитывающая влияние скорости деформации на процессы сложного знакопеременного деформирования жаропрочных сплавов в процессе раскатки, внедренная в программный комплекс, основанный на методе конечных элементов.

Основное содержание диссертации отражено в периодической печати и доложено на конференциях и семинарах.

Автореферат в должной мере отражает содержание диссертации и позволяет понять и оценить полученные результаты.

Диссертация удовлетворяет требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, О.Е. Ларионова, заслуживает искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела» за результаты

исследования вязкопластического деформирования диска из жаропрочного никелевого сплава в процессе изотермической раскатки.

Диссертационная работа заслушана, обсуждена и одобрена на заседании НТС отдела «Прочность, живучесть и безопасность машин» Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН 10 декабря 2025 г. Протокол № 12/25.

Председатель НТС,
Заведующий отделом «Прочность,
живучесть и безопасность машин»,
главный научный сотрудник лаборатории
моделирования повреждений и
разрушений машин
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова
Российской академии наук,
докт. техн. наук по специальности
01.02.06 «Динамика, прочность машин,
приборов и аппаратуры», профессор,
Заслуженный деятель науки РФ

Юрий Григорьевич Матвиенко



15.12.2025 г.

Подпись Матвиенко Ю.Г. заверяю

Исполняющий обязанности директора
ИМАШ РАН, д.т.н.



А.В. Разуткин