

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

**Арсланова Марата Рашитовича**

на тему «Исследование влияния технологической наследственности на напряженно-деформированное состояние и усталостную прочность элементов конструкций из объемных наноматериалов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Несмотря на большое число работ по изучению процесса равноканального углового прессования (РКУП), проблема оценки влияния технологической наследственности (остаточных напряжений и накопленных пластических деформаций) в заготовке на напряженно-деформированное состояние (НДС) и прочность элементов конструкций, выполненных из объемных наноматериалов, недостаточно изучена. Исследование особенностей формирования НДС при нагружении с учетом технологической наследственности позволит повысить надежность и усталостную прочность конструкций, выполненных из данных материалов, а также оценить возможность их использования в современных изделиях. Разработка численных методов расчета технологической наследственности в конструкциях из объемных наноматериалов, а также установление её влияния на многоцикловую усталостную прочность является актуальной проблемой.

Научной новизной обладают разработанная методика расчета НДС, отличающаяся от существующих учетом технологической наследственности в заготовках после РКУП в типовых элементах конструкций (пластина с отверстием, стержень с выточкой) из наноструктурного титанового сплава Ti-6Al-4V, выполненный численный расчет НДС в законцовке гибкого трубопровода,

изготовленного из обычных и объемных наноструктурных материалов, где расчет в отличие от существующих учитывает «историю» нагружения в отдельных деталях законцовки гибкого трубопровода, полученных в результате различных видов обработки, исследованное теоретически и экспериментально усталостная многоцикловая прочность элементов конструкций из обычных и объемных наноструктурных титановых сплавов Ti-6Al-4V, где установлено, что предел выносливости гладких образцов из наноструктурного сплава на 20% выше, чем предел выносливости образцов из обычного титанового сплава и выявлено, что при симметричном цикле нагружения предел выносливости пластины с отверстием из обычного сплава Ti-6Al-4V практически в два раза меньше, чем для аналогичных деталей из наноструктурного материала.

Высокий научный уровень диссертационной работы Арсланова М.Р. определяется: достоверностью научных положений, результатов и выводов, содержащихся в работе, использованием фундаментальных положений механики деформируемого твердого тела, корректном применении современных экспериментальных и численных методов деформирования твердого тела и подтверждается: решением большого числа задач; сравнением получаемых решений с известными численными и экспериментальными результатами; сравнением получаемых решений с известными результатами моделирования численными методами на основе других систем уравнений. В теоретической части работы следует отметить разработку метода расчета НДС в типовых элементах конструкций (пластина с отверстием, стержень с выточкой) из наноструктурного титанового сплава Ti-6Al-4V, отличающаяся от существующих учетом технологической наследственности в заготовках после РКУП, численный расчет НДС в законцовке гибкого трубопровода, изготовленного из обычных и объемных наноструктурных материалов,

что позволило установить, что прочность гибкого трубопровода с наличием элементов из наноструктурного титанового сплава ВТ6 при статическом нагружении практически в 2 раза выше, чем для аналогичных объектов из обычного ВТ6, теоретическое и экспериментальное исследование усталостной многоцикловой прочности элементов конструкций из обычных и объемных наноструктурных титановых сплавов Ti-6Al-4V. Выполнен расчет НДС в пластинах из обычных материалов с запрессованными в отверстия кольцами из наноструктурного титанового сплава Ti-6Al-4V при одноосном нагружении. Проведено моделирование процесса посадки с натягом наноструктурного кольца в отверстие пластины. Проведен расчет полей напряжений формирующихся в процессе упругого деформирования пластины из обычного материала с запрессованным наноструктурным кольцом. Выявлено, что наличие технологической наследственности в кольце из наноструктурного сплава оказывает существенное влияние на характер и уровень напряженного состояния. Расчет полей напряжений показал, что в случае учета технологической наследственности в заготовке после РКУП, уровень НДС в кольце несколько ниже, чем напряженное состояние, рассчитанное без учета технологической наследственности. Выполнен расчет напряженно-деформированного состояния в стержнях с выточками из обычного и наноструктурного материала при одноосном нагружении и расчет напряженно-деформированного состояния в стержнях из наноструктурного материала при одноосном нагружении с учетом технологической наследственности после РКУП и накатки кольцевой канавки.

Также высока научная и практическая ценность результатов диссертации, а полученные результаты являются новыми. В зарубежной и отечественной литературе имеются, в основном, работы, в которых рассмотрены лишь отдельные аспекты проблемы.

Результаты научных исследований данной работы могут быть использованы при проектировании элементов конструкций из объемных наноструктурных материалов с учетом технологической наследственности.

И наконец, следует отметить, что диссертационная работа основывается на **наукоемких программных продуктах, технологиях и доведена до внедрения результатов работы в производство.**

Основные положения диссертационной работы Арсланова М. Р. отражены в 11 печатных работах, в том числе 3 в рецензируемых изданиях из списка ВАК и двух патентах.

Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание диссертации.

Работа имеет следующие недостатки:

- а) Глава 2, стр. 31. Нет пояснений обозначения  $N$ , например  $N=2(B)$ .
- б) Повторный проход при маршруте  $B$  приводит к изменению направления сдвига; при этом плоскость сдвига поворачивается на угол  $120^\circ$  (при  $2 = 90^\circ$ ) (рисунок 2.3, б). Нет пояснения (при  $2 = 90^\circ$ ).
- в) Стр. 34. Взаимно исключающие утверждения. «Материал заготовки соответствовал технически чистому титану ВТ6. Свойства материала отвечали свойствам сплава ВТ6 при температуре  $T = 450^\circ \text{C}$ , температуре техпроцесса РКУП». Применяется разное написание «титанового сплава ВТ-6» стр. 19 и «технически чистому титану ВТ6» - стр. 34.
- г) Стр. 34, абзац 2. Приходится догадываться, что последующие данные приведены для температуры  $T = 450^\circ \text{C}$ . «При моделировании заготовки из титана были приняты следующие механические характеристики: модуль Юнга  $E=1,15 \times 10^5$  МПа; коэффициент Пуассона 0,34; предел текучести  $\sigma_T = 80$  МПа; предел прочности  $\sigma_{ПЧ} = 300$  МПа».

- д) Невозможно разобраться ни с размерностями, ни с величинами, представленными на рисунках 2.7-2.10.
- е) Отдельные термины не соответствуют рекомендуемым, в частности, «чрезвычайно привлекательными» (стр. 8); «технологической наследственности (остаточных напряжений и накопленных пластических деформаций)» (стр. 8).
- ж) В выводах по главе 2 речь заходит впервые о титановом сплаве Ti-6Al-4V: «Выполнено исследование распределения накопленной деформации в заготовке из титанового сплава Ti-6Al-4V».
- з) Рисунки 2.7, 2.8 и пояснения к ним должны иметь ссылки на работу Ермоленко А.Н.
- и) Почему большая разница в модуле упругости в таблицах (Таблица 2.1 – Механические характеристики ВТ6. Таблица 3.1 – Физико-механические свойства Ti-6Al-4V).
- к) Термин «сила сцепления» на стр. 62 рекомендуется заменить другим. «Соединения с натягом представляют собой напряженные посадки. При насадке охватывающей детали (втулки, ступицы и т.д.) с меньшим диаметром отверстия на охватываемую деталь (ось, вал и т.д.) благодаря силе упругости на поверхности сопряжения возникает сила сцепления, препятствующая взаимному смещению деталей».
- л) Для результатов, представленных на рис. 3.13, 3.14, 3.16 не приводятся величины натягов, которые были приняты при расчетах, что затрудняет проведение расчетов с целью проверки достоверности полученных величин. Формулы (3.32), (3.33) для данной задачи можно считать приближенными, так как  $b$  половина стороны квадрата.
- м) Имеются опечатки: стр. 42 – равенства, стр. 46 - мгновенный предел текучести, стр. 51 – «в сечении» -повторение.

Имеющиеся в работе недостатки не снижают ее научной и практической значимости.

Оценивая диссертацию в целом, можно с полным основанием считать ее законченной научной работой. **Диссертация содержит новые научные, методические и практические результаты:**

методику расчета НДС в типовых элементах конструкций с концентраторами напряжений (пластина с отверстием, стержень с выточкой), выполненных из наноструктурного материала, с учетом технологической наследственности в заготовке, сформированной при РКУП;

результаты расчета остаточных напряжений и деформаций в законцовке гибкого трубопровода из обычного и наноструктурного титанового сплава ВТ6 с учетом «истории» нагружения в отдельных деталях, полученных при различных видах обработки (гидравлическая штамповка, РКУП и т.д.);

результаты теоретического и экспериментального исследования усталостной многоцикловой прочности элементов конструкций из обычного и наноструктурного титанового сплава Ti-6Al-4V.

Поэтому диссертация полностью отвечает требованиям пунктов 9-11, 13-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Арсланов Марат Рашитович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Ведущий научный сотрудник  
Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Институт механики им. Р.Р. Мавлютова  
Уфимского научного центра  
Российской академии наук (Имех УНЦ РАН),  
канд. физ.-мат. наук

А.Г. Хакимов



АГ ХАКИМОВ

07.05