

## **ОТЗЫВ**

**на автореферат диссертационной работы Полянского Александра Михайловича на тему: «Материаловедческие решения проблем разрушения деталей и узлов ЖРД большой мощности в производстве и эксплуатации», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности**

### **2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов**

Основное требование к жидкостным ракетным двигателям (ЖРД) большой мощности для летательных аппаратов в сравнении с известными ЖРД того же класса — увеличение удельной тяги, то есть отношения силы тяги двигателя к его массе. В связи с этим детали, узлы и агрегаты ЖРД на стадии проектирования рассчитываются с минимальными коэффициентами запаса по прочности. По этой причине для ЖРД с учетом длительности их эксплуатации и условий огневых испытаний (ОИ) выбирают максимально прочные материалы. Однако из-за исключительного разнообразия условий эксплуатации отдельных деталей ЖРД у них встречаются практически все известные виды разрушений. Исходя из этого, изучение природы и кинетики технологических и эксплуатационных разрушений различных узлов и деталей ЖРД является весьма важной и актуальной задачей современного двигателестроения.

Диссертационная работа Полянского А.М. посвящена обобщению результатов исследований автора, относящихся к решению задач о разрушениях в основных агрегатах ЖРД большой мощности. В ней изложены научные основы и практические приёмы определения причин разрушений и износа узлов ЖРД. Результаты, полученные автором, позволили в ряде случаев существенно повысить надежность и ресурс узлов ЖРД. Особенно впечатляют предложенные автором решения нескольких проблем выбора материалов при разработке многоразовых двигателей для универсальной ракеты нового поколения «Ангара».

Все сформулированные автором научные положения и выводы основываются на необходимом и достаточном объеме теоретических и экспериментальных данных. Достоверность полученных научных результатов, обоснованность выводов и научных положений, выносимых на защиту, обеспечивается большим объемом выполненных экспериментов с применением комплекса современных методов исследования.

Практическое применение результатов диссертационной работы заключается в проведении экспертизы причин и механизмов технологических и эксплуатационных разрушений узлов ЖРД и реализации выработки конструктивно - технологических мероприятий по их устранению в условиях производства ОАО «НПО Энергомаш» (г. Химки), а также смежных предприятий аэрокосмической отрасли.

Результаты диссертационной работы опубликованы в 46 научных статьях, рекомендованных ВАК РФ и индексируемых в базах данных Scopus, получено 4 патента РФ на технические решения и способы. Результаты доложены на Всероссийских и международных конференциях.



По тексту автореферата имеются следующие замечания:

1. С целью защиты лопаток РКТ и СА от возгорания на их поверхность наносится защитное никелевое покрытие. На операции диффузионного срачивания покрытия с поверхностью материала лопаток в основном материале лопаток образуется диффузионная зона, в которой на границе с никелевым покрытием возникает разупрочненная  $\gamma$  – область, обедненная по легирующим элементам. Не ясно, может ли наличие такой однофазной аустенитной области влиять на сопротивление усталости и зарождение усталостных трещин в выходных кромках лопаток СА и РКТ.

2. В настоящее время разработаны новые жаропрочные гранулируемые и деформированные никелевые сплавы, которые по комплексу свойств имеют значительные преимущества в сравнении с известными российскими и зарубежными сплавами. Было бы интересно оценить в работе возможности применения новых сплавов, используемых в узлах турбин многоразовых ЖРД, например, жаропрочного гранулируемого никелевого сплава ВВ752П, имеющего высокие статические и усталостные характеристики ( $\sigma_B = 1640$  МПа и  $\sigma_{0,2} = 1220$  МПа) и рабочую температуру до  $650^\circ\text{C}$  в узлах одноразовых ЖРД.

3. Страница 13, 2<sup>й</sup> абзац снизу. «...карбидами типа MeC на основе ниобия». В ЖНС таких карбидов не бывает. Кроме Nb карбиды типа MeC всегда содержат Ti, Hf, Ta, Zr.

4. Страница 23, 3<sup>й</sup> абзац. «... разрушающего напряжения  $\sigma_p$ , которое пропорционально величине  $d^{-1/2}$  ( $d$  — размер зерна)». Неверно. Разрушающее напряжение — термин автора. Есть истинное напряжение при одноосном растяжении, равное частному от деления разрушающей нагрузки на площадь поперечного сечения растягиваемого образца в месте разрыва. Указанная зависимость справедлива для *напряжения течения* при заданном уровне деформации, например, для предела текучести  $\sigma_{0,2}$ .

5. Страница 26, 3<sup>й</sup> абзац. «... пороговое напряжение разрушение  $\sigma_n$  по механизму низкотемпературной ползучести — разрушение в условиях длительной прочности».. Может быть, имеются в виду стадии ползучести? В этом разделе автореферата нет никаких фактических материалов. Указано только, что исследовалось разрушение гаек клапанов из алюминиевого сплава АВ, в которых перед стартом выявили трещины, и которые простояли перед стартом три или четыре года. Далее идут слова типа «Разрушения этой перемычки происходили в результате *силового* вязкого разрушения при подаче давления азота в клапан на предстартовых тестированиях магистралей двигателя». Так как никаких подтверждений указанных механизмов разрушения в тексте автореферата не представлено, такие данные трудно считать доказанными.

Сделанные замечания имеют частный характер и не влияют на положительную оценку диссертационной работы.

Диссертационная работа Полянского А.М. выполнена на высоком научно-техническом уровне, характеризуется научной новизной и практической значимостью, которая подтверждена научными публикациями и апробирована на конференциях. Научная новизна заключается в получении систематизированных данных о механизмах эксплуатационных и технологических разрушений в основных агрегатах ЖРД большой



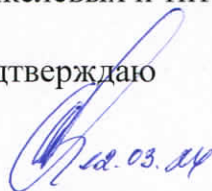
мощности и в конструктивно – технологических решениях, позволяющих эти разрушения предотвращать.

Диссертация Полянского А.М. является законченным научно - исследовательским трудом, в рамках которого автором представлены новые научно обоснованные технические и технологические решения, направленные на предотвращение разрушения деталей и узлов ЖРД большой мощности в производстве и эксплуатации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям Положения о порядке присуждения ученых степеней в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1 - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Начальник лаборатории  
научно-исследовательской лаборатории металловедения  
и технологии металлургии гранул жаропрочных никелевых и титановых сплавов  
ОАО «ВИЛС», к. т. н.

Согласие на обработку персональных данных – подтверждаю



А.М. Казберович

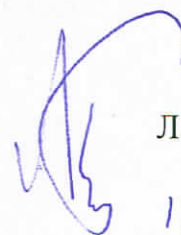
Адрес: 121596, Москва, ул. Горбунова, д. 2

Телефон (рабочий): +7(495)287-74-00 доб. 1221.

Адрес электронной почты: aleksey\_kazberovich@oaovils.ru

Главный научный сотрудник  
научно-исследовательской лаборатории металловедения  
и технологии металлургии гранул жаропрочных никелевых и титановых сплавов, ОАО  
«ВИЛС», с.н.с., д.т.н.

Согласие на обработку персональных данных – подтверждаю



Л.Б. Бер

12.03.2024г.

Адрес: 121596, Москва, ул. Горбунова, д. 2

Телефон (рабочий): +7(495)287-74-00 доб. 2522.

Адрес электронной почты: leonid\_ber@oaovils.ru

Подписи Казберовича Алексея Михайловича и Бера Леонида Борисовича заверяю.

Начальник службы управления персоналом  
ОАО «ВИЛС»



О.В. Батура

