



УТВЕРЖДАЮ

Научный руководитель  
предприятия,  
доктор технических наук,  
профессор

*В.Н. Половинкин*

В.Н. Половинкин

« 23 » 05 2018 г.

|                                                    |        |
|----------------------------------------------------|--------|
| НИИ «Курчатовский институт»-<br>ЦНИИ КМ «Прометей» |        |
| Вх. № 1601                                         | в ДЕЛО |
| « 23 » 05 2018 г.                                  | №      |
| Осн. 4 л.                                          | подп.  |
|                                                    | л.     |

### ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Зизы Алексея Игоревича  
по теме «Разработка технологических методов повышения характери-  
стик сопротивления разрушению металла баллонов ВВД из высоко-  
прочной стали Cr-Ni-Mo-V композиции», представленной на соискание  
ученой степени кандидата технических наук, специальность 05.16.09 – мате-  
риаловедение (машиностроение)

**Актуальность настоящей диссертационной работы.** Баллоны воздуха вы-  
сокого давления (ВВД) из среднеуглеродистых высокопрочных хромоникельмо-  
либденованадиевых сталей с рабочим давлением до 39,2 МПа (400 кгс/см<sup>2</sup>) широко  
применяются в специальных судовых системах. Баллоны ВВД являются наиболее  
ответственными конструкциями, заставляющими предъявлять к выбору материала  
и технологии их изготовления самые высокие требования.

По техническим условиям на баллоны ВВД (ТУ) разработки 1980 года огра-  
ничение верхнего уровня прочностных характеристик материала  $\sigma_{0,2}$  и  $\sigma_B$  отсутст-  
вует и ударная вязкость контролируется только по испытаниям на ударный изгиб  
образцов с полукруглым надрезом КСЧ при комнатной температуре, несмотря на  
необходимость обеспечивать работоспособность баллонов при температурах до  
минус 50 °С.

В период 2006 - 2011 годов имели место несколько случаев хрупкого разру-  
шения баллонов ВВД. Проведено обследование баллонов производства 1987 - 2004  
годов (по паспортам ~ 260 баллонов и на образцах, вырезанных из более, чем 10  
баллонов) на соответствие фактических характеристик механических свойств ма-  
териала баллонов нормативным требованиям по действующим на тот момент тех-  
ническим условиям. Обследование показало значительное на (160 - 240) МПа пре-

вышение прочностными характеристиками нормативных значений, а также большой разброс значений ударной вязкости. Поскольку ударная вязкость является структурно чувствительной характеристикой, значительный разброс ее уровня свидетельствует о неравномерности структуры металла баллонов, т.е. о неоптимальном выборе режима термомодеформационного воздействия при производстве баллонов.

Поэтому разработка новых технологических методов при производстве баллонов ВВД для повышения характеристик сопротивления разрушению металла баллонов является актуальной. Актуальной является также необходимость пересмотра требований технической документации (ТУ) в части ужесточения требований по контролю ударной вязкости.

**Научная новизна** полученных автором результатов состоит в том, что на основании проведенных экспериментальных и теоретических исследований:

- определены оптимальные термомодеформационные параметры при производстве заготовок баллонов ВВД, позволяющие получить измельченную структуру и, как следствие, повысить ударную вязкость;
- выполнены исследования по определению количества остаточного аустенита, кинетики его превращения при отпуске высокопрочной стали марок 35ХНЗМФА и 38ХНЗМФА, а также повышения характеристик работоспособности с помощью регулирования превращения остаточного аустенита в процессе окончательной термообработки;
- для обеспечения предотвращения нестабильного хрупкого разрушения баллонов ВВД (на основе концепции безопасности «течь перед разрушением», принятой для сосудов и трубопроводов давления АЭС и магистральных газопроводов) получено минимально допустимое значение параметра статической трещиностойкости материала при температуре минус 50 °С  $K_{IC} \geq 112 \text{ МПа} \sqrt{\text{м}}$ , и по соответствующей корреляционной зависимости – минимальное значение уровня ударной вязкости  $KCV^{-50} \geq 38 \text{ Дж/см}^2$ ;
- установлен максимальный уровень предела текучести (1150 МПа), превышение которого для рассматриваемых сталей опасно по причине снижения параметров статической трещиностойкости при коррозионном растрескивании в морской воде;
- разработан перспективный состав высокопрочной экономнолегированной хладостойкой стали с пониженным содержанием углерода и никеля, обеспечиваю-

щей высокий уровень ударной вязкости при температуре эксплуатации до минус 50 °С.

**Достоверность результатов** обеспечивается: использованием современного оборудования и актуальных методов исследований; большим объемом проведенных экспериментов, результаты которых согласуются с известными данными других исследователей; корреляцией результатов.

**Реализацией результатов работы** является разработанная на основе полученных теоретических и экспериментальных данных усовершенствованная технология производства баллонов ВВД, которая внедрена в условиях ОАО «ВМЗ «Красный Октябрь».

**Практическая ценность (значимость) работы:**

- разработана и внедрена усовершенствованная технология производства баллонов ВВД, по которой уже изготовлены более 700 баллонов ВВД, соответствующих повышенному уровню требований;
- внесены изменения в техническую документацию (ТУ, разработанные ОАО «ПНТЗ» в 2017 году) в части ужесточения требований к металлу баллонов ВВД: введено верхнее ограничение предела текучести и временного сопротивления, введен контроль ударной вязкости на образцах с острым надрезом KCV при температуре минус 50 °С, введен диапазон твердости металла, НВ;
- рекомендовано использование высокопрочной экономнолегированной хладостойкой стали с пониженным содержанием углерода и никеля, обеспечивающей оптимальный комплекс механических свойств материала.

### **Выводы**

В целом настоящая работа является законченным научным исследованием, в котором решена актуальная научно-техническая задача по разработке технологических методов повышения характеристик сопротивления разрушению металла баллонов ВВД из высокопрочной хромоникельмолибденованадиевой стали.

Результаты исследований автора в достаточной степени отражены в публикациях и обсуждены на научно-технических конференциях.

Представленная работа выполнена на современном научном уровне и отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842), предъявляемых к кандидатским диссертациям, а её автор Зиза Алексей Игоревич достоин

присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности  
05.16.09 – материаловедение (машиностроение).

Отзыв составил:

Начальник 32 лаборатории,  
кандидат технических наук



Тумашик Глеб Александрович

*Подпись Тумашика Г.А.*  
*Ведущий специалист*



*(Штемпиль В.А.)*

Адрес: Федеральное государственное унитарное предприятие «Крыловский  
государственный научный центр» (ФГУП «Крыловский  
государственный научный центр»),  
Московское шоссе, 44, Санкт-Петербург, 196158  
тел: +7(812) 415-46-07, факс: +7 (812) 727-96-32  
E-mail: [krylov@krylov.spb.ru](mailto:krylov@krylov.spb.ru) [www.krylov.com.ru](http://www.krylov.com.ru)