

УДК 629.5.035.8:621.887.662

ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ РАЗРЕЗНОГО УПОРНОГО КОЛЬЦА УПЛОТНЕНИЯ ГРЕБНОГО ВАЛА ПРИ РАЗВЕДЕНИИ НА МОНТАЖНУЮ ВЕЛИЧИНУ

Петров А.Л., Баева Л.С., Колодяжный В.И., Кумова Ж.В., Петрова Н.Е.
*ФГБОУ ВО «Мурманский государственный технический университет», Мурманск,
e-mail: zhannakmv@yandex.ru*

Гребной вал является валом, непосредственно несущим на себе движитель судна. Валопровод – это общая система, представляющая соединенные между собой валы, при помощи которой производится процесс работы движителя путем передачи вращения от главного двигателя. Главная задача системы валов (валопровода) заключается в обеспечении гребного винта крутящим моментом, исходящим от главного двигателя, и в то же время передачи судовому корпусу упора, возникающего при работе гребного винта и его восприятие. Общая длина системы валов характеризуется габаритами судна и плана расположения машинного отделения. Как правило, валопровод является системой, состоящей из нескольких элементов, выложенной на опорных подшипниках с надежной системой взаимной фиксации. Каждому элементу этой системы присвоены обозначения и допустимые характеристики, исходя из эксплуатационного назначения. Цель исследования является подтверждение отсутствия пластических деформаций и недопустимых технологий напряжений разрезного кольца уплотнения вала в случае разведения на технологический размер, регламентированный технологией монтажа. Расчет проведен в САЕ модуле программы Mechanical Desktop методом конечных элементов (МКЭ), реализующим лишь базовые функции и не предназначенным для полного расчета МКЭ. Модуль предназначен для того, чтобы обеспечить инженера основными сведениями о прочности и слабых местах разрабатываемой конструкции. Для полного расчета рекомендуется использовать специализированные пакеты расчета.

Ключевые слова: деформация, упорное кольцо, гребной вал, монтаж, дефектоскоп, замеры толщин

IDENTIFICATION OF STRAINS RESISTANT SPLIT THRUST RING OF THE SCREW SHAFT AT A FITTING OF MOUNTING SIZE

Petrov A.L., Baeva L.S., Kolodyazhny V.I., Kumova Z.V., Petrova N.E.
*Federal State Educational Institution of Higher Education «Murmansk State Technical University»,
Murmansk, e-mail: zhannakmv@yandex.ru*

The propeller shaft is the shaft directly carrying the propulsion of the vessel. The shaft line is the General system representing the shafts connected among themselves by means of which process of work of the mover by transfer of rotation from the main engine is made. The main task of the shaft system is to provide the propeller torque coming from the main engine, and at the same time, the transmission of the ship's hull stop arising from the propeller and its perception. The total length of the shaft system is characterized by the dimensions of the vessel and the layout of the engine room. As a rule, the shaft line is a system consisting of several elements, laid out on the bearing pads with a reliable system of mutual fixation. Each element of this system is assigned designations and permissible characteristics, based on the operational purpose. The purpose of the study is to confirm the absence of plastic deformations and stresses not allowed by the technology of the split ring of the shaft seal in the case of dilution to the technological size, regulated by the installation technology. The calculation is carried out in the CAD module of the mechanical desktop program by the finite element method (FEM), which implements only the basic functions and is not intended for the full calculation of FEM. The module is designed to provide the engineer with basic information about the strength and weaknesses of the developed design. For full calculation it is recommended to use specialized calculation packages.

Keywords: deformation, thrust ring, screw shaft, installation, flaw detector, thickness measurements

Процесс проектирования является одним из важнейших этапов жизненного цикла изделия и представляет собой сложную конструкцию, ход решения которой представляет собой иерархическую систему, состоящую из многочисленных вариантов, каждый из которых отвечает соответствующим требованиям, но в целом выполняющую единую задачу.

Модуль САЕ Mechanical Desktop предназначен для того, чтобы обеспечить инженера основными сведениями о прочности и слабых местах разрабатываемой конструкции.

При расчете исходными условиями являются сама модель, условия работы – за-

крепление на валу, механические характеристики материала – титанового сплава марки ПТ-3В и начальная деформация кольца от механического воздействия [1].

Цель исследования: определение величин допустимых напряжений и степени возможных пластических деформаций в материале кольца стопорного при его монтаже на гребной вал без разборки узла валопровода.

Материалы и методы исследования

Объекты исследования – кольцо разрезное упорное вала гребного № 1 и № 2.

Ультразвуковые исследования объектов с использованием ультразвукового дефекто-

скопа УД4-Т «Томографик». Магнитоанізотропные исследования объектов при деформациях, возникающих при разводке кольца в пределах заданных расстояний согласно схеме разводки кольца упорного для сплава материала ПТ-3В [2].

Замеры толщин объектов производились по стандартным методикам с помощью МК-25-1 ГОСТ 6507 (таблица).

Замеры толщины объектов

№ сектора	Толщина упорного кольца, мм	
	№ 1	№ 2
7,5	7,98	8,02
8	7,99	8,01
8,5	7,98	8,01
9	7,98	8,01
9,5	7,99	8,02
10	7,99	8,01
10,5	7,99	8,01

Фрактографический анализ изломов и состояния поверхности объектов [3] выполнен после проведения трехкратных разведений объектов. Результаты испытаний показали отсутствие видимых нарушений сплошности поверхностного слоя и следов остаточных деформаций объектов (рис. 1).

Ультразвуковые исследования объектов проведены с использованием ультразвукового (УЗ) дефектоскопа УД4-Т «Томографик», позволяющих посредством измерения амплитуды эхосигналов от дефектов (в качестве дефектов рассматривалось вероятное изменение размеров зерна под действием сложного нагружения объекта – растяжение с кручением) определить степень пластической деформации объекта в области приложения максимальных нагрузок.

Сопротивление малым пластическим деформациям (предел текучести, предел пропорциональности и предел упругости) у титана и сплавов на его основе оказывается очень чувствительным к микроструктуре (величине зерна) и скорости нагружения. Титан при температуре 18–20 °С имеет ползучесть при напряжениях заметно более низких, чем предел текучести. Это обстоятельство приводит к трудностям при определении пределов упругости и пропорциональности, особенно при малых остаточных деформациях, так как длительность нагружений и разгрузений сказывается на результатах измерений, и предел упругости для титановых сплавов нельзя считать устойчивой характеристикой, что подтверждается результатами ультразвуковых исследований объектов.

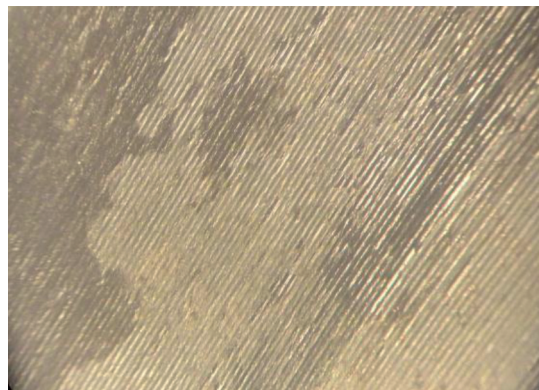
Механические характеристики титановых сплавов зависят от содержания легирующих элементов (композиции сплава), важнейшим фактором, влияющим на стандартные свойства, является содержание в титане или сплавах на его основе технологических примесей – главным образом газовых (O_2 , N_2 , H_2).

Влияние химико-термической обработки (ХТО) на свойства сплавов на основе титана. Концентрация углерода в сплаве прямо влияет на изменение прочностных характеристик α -фазы. Прочностные характеристики по мере увеличения концентрации углерода практически остаются неизменными в двухфазной системе. Изменения происходят по линейному закону (рис. 2).

Пластичность сплавов при увеличении содержания углерода, наоборот, снижается. Присутствие в сплавах карбидной фазы приводит к появлению хрупкости [4].



а)



б)

Рис. 1. Внешний вид разрезного упорного кольца (при увеличении $\times 25$): а) № 1; б) № 2

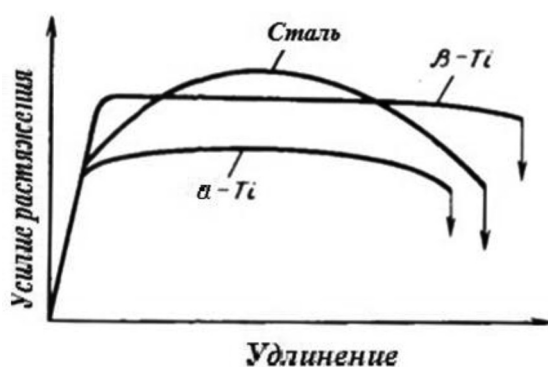


Рис. 2. Схематическое сопоставление диаграммы растяжения стандартных разрывных образцов из титана с α - и β -фазной структурой и из конструкционной стали одной категории прочности

Современное ультразвуковое дефектоскопическое оборудование дает возможность с достаточно высокой точностью ($S \geq 1 \text{ мм}^2$) выявлять несплошности структуры материалов. Выявление дефектов меньшей площадью требует увеличения значения усиления сигнала, что приводит к затуханию УЗ сигнала.

Коэффициент затухания δ возрастает с увеличением частоты не линейно, а в повышенной степени. Причем коэффициент затухания различен для различных материалов и складывается из коэффициентов поглощения и рассеяния:

$$\delta = \delta_n + \delta_p. \quad (1)$$

Поглощенная звуковая энергия переходит в теплоту. Рассеянная энергия остается по форме звуковой, но уходит из направленного пучка, отражаясь от неоднородной среды. В однородных средах затухание определяется главным образом поглощением ультразвука:

$$\delta_n > \delta_p. \quad (2)$$

В металлах рассеяние преобладает над поглощением:

$$\delta_p \gg \delta_n. \quad (3)$$

Причем δ_n пропорционально f , а δ_p пропорционально f^3 или f^4 . Коэффициент от соотношения средней величины зерен D и длины λ УЗ-волны (где f – частота, λ – длина волны). Увеличение размера зерен приводит к росту затухания УЗК.

Наличие дефектов различного рода, таких как раковины, трещины, несплошности и т.д., уровень сигнала может вызвать изменение амплитуды на 2–3 порядка – в 10; 100 и 1000 раз, что составит 20, 40 и 60 дБ [5].

Анализ изменений амплитуды УЗК (затухание ультразвуковых колебаний в материале объектов) в ходе исследования позволяет сделать вывод:

- степень затухания УЗК увеличивается пропорционально количеству циклов нагружения;

- причина прогрессирующего затухания – изменение размера зерна (увеличение) вследствие воздействия сложного нагружения;

- динамика затухания в среднем составляет от 0,1 до 1,0% за один цикл нагружения, что не является критическим.

Результаты исследований представлены в протоколах (рис. 3) ультразвукового контроля концентрации механических напряжений (КМН) на разрывных упорных кольцах № 1 и № 2.

Магнитоанізотропные исследования объектов: контроль КМН с использованием метода магнитной анизотропии выявили:

- кольцо разрезное упорное вала гребного № 1 имеет КМН, не превышающие 4 у.е. (сектор 7 и 12);

- кольцо разрезное упорное № 2 – КМН в районе 8 сектора с уровнем не более 4,5 у.е.;

- наличия зон с повышенными КМН не обнаружено.

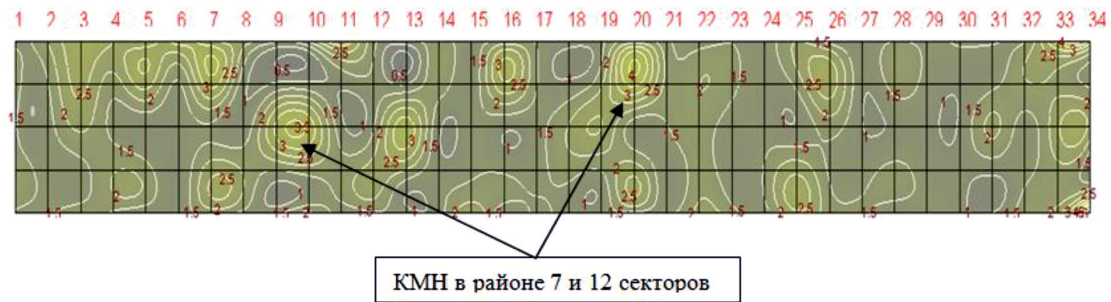
Результаты исследования и их обсуждение

Расчет проведен в САЕ модуле программы Mechanical Desktop методом конечных элементов (МКЭ), реализующим лишь базовые функции и не предназначенным для полного расчета МКЭ. Модуль предназначен для того, чтобы обеспечить инженера основными сведениями о прочности и слабых местах разрабатываемой конструкции. Для полного расчета рекомендуется использовать специализированные пакеты расчета.

При расчете исходными условиями была сама модель, условия работы – закрепление на валу, механические характеристики материала – титанового сплава марки ПТ-3В и начальная деформация кольца от механического воздействия, согласно схеме нагружения (расстояние 550 мм), представленной на рис. 4. В результате проведенных испытаний по указанному модулю необходимое усилие составило 1,04 Н.

Максимальное напряжение, возникающее в указанном районе, при испытании в Mechanical Desktop в размере – 5,18478 МПа. Таким образом, обеспечен необходимый запас прочности. Результаты проведенных испытаний прочности конструкции по программе Mechanical Desktop представлены на рис. 5.

Карта КМН кольца № 1



Карта КМН кольца № 2

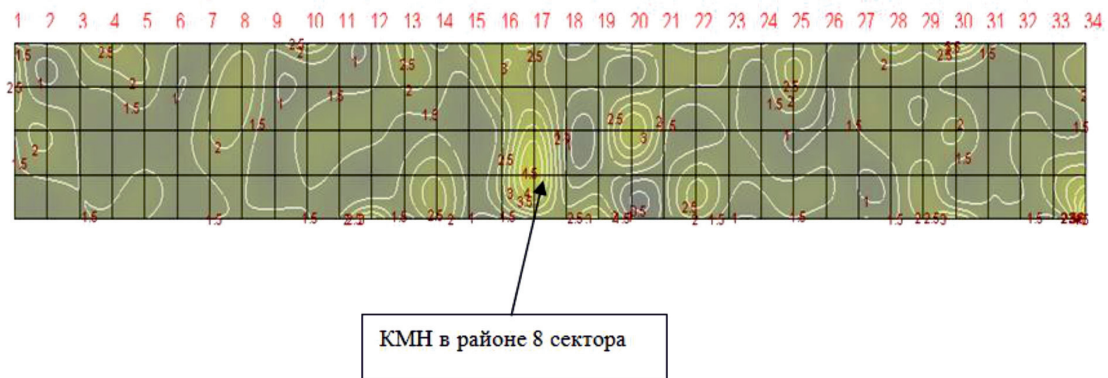


Рис. 3. Результаты контроля концентрации механических напряжений на разрывных упорных кольцах

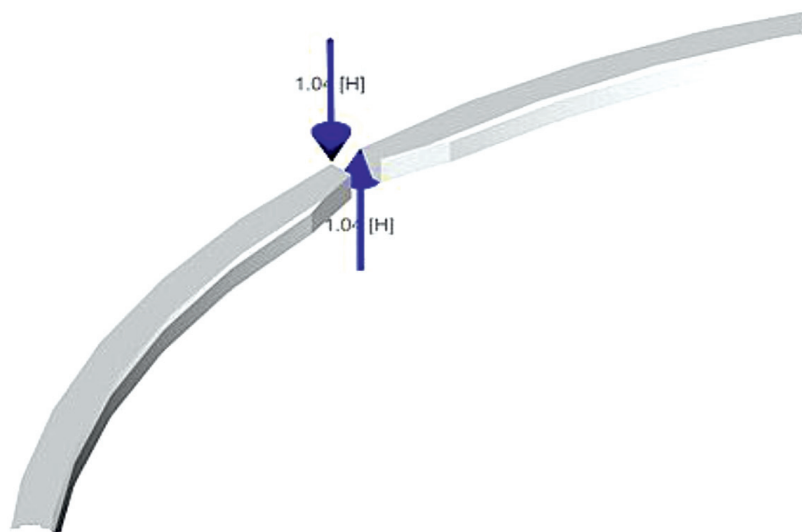
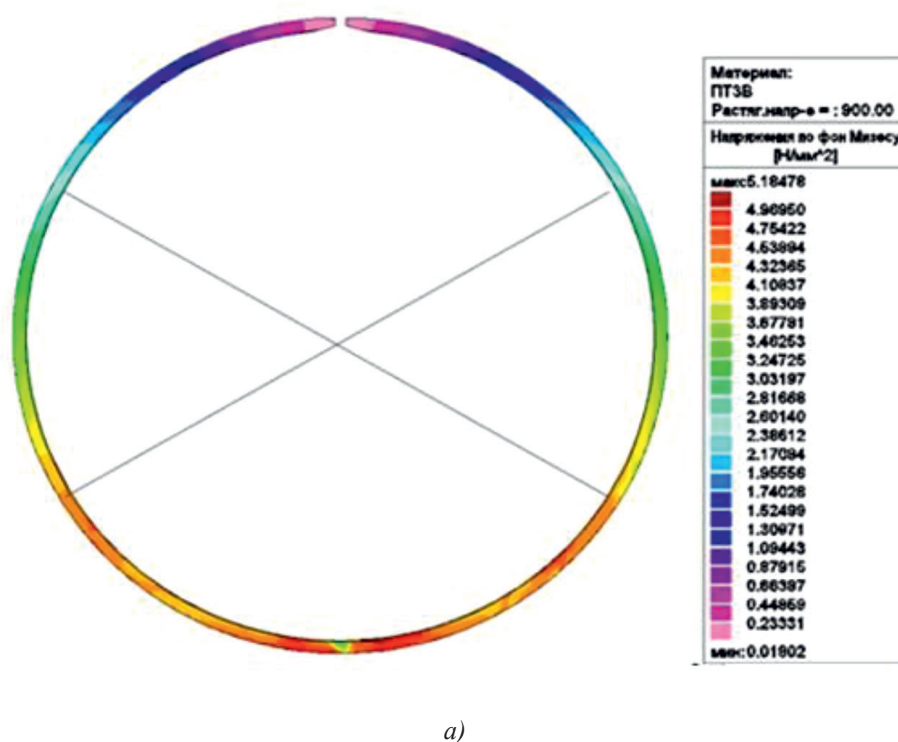
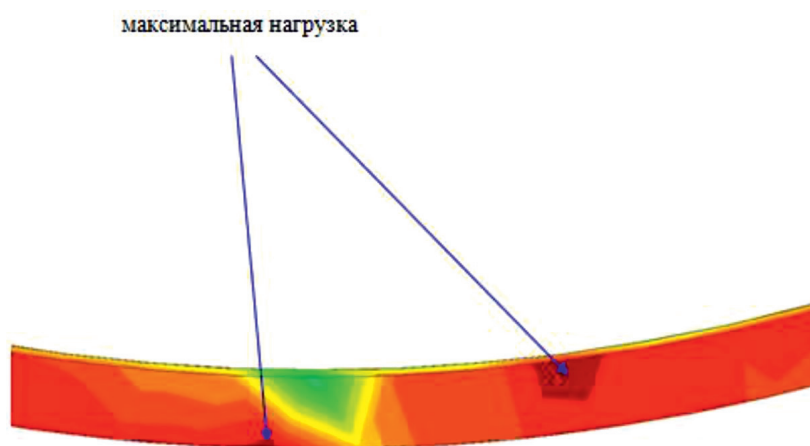


Рис. 4. Схема разводки кольца



а)



б)

Рис. 5. Схема кольца при рассчитанной нагрузке для титанового сплава:
 а) вид кольца с рассчитанными напряжениями,
 б) вид кольца крупным планом в местах с максимальной нагрузкой

Заключение

Результаты проведенного исследования колец упорных гребного вала показали отсутствие в материале видимых нарушений сплошности поверхностного слоя, а также следов остаточных деформаций.

Ультразвуковой контроль позволил сделать вывод об увеличении степени затухания сплава материала ПТ-3В пропорциональ-

но количеству циклов нагружения, выявить динамику и причину прогрессирующего затухания, заключающуюся в изменении размера зерна (его увеличении) вследствие воздействия сложного нагружения.

Анализ результатов магнитоанізотропных исследований повышенных концентраций механических напряжений в материале разрывных упорных колец показал их отсутствие.

С целью определения необходимого запаса прочности конструкций из сплава ПТ-3В выполнен расчет в САЕ модуле программы Mechanical Desktop.

Список литературы

1. ГОСТ Р 53966-2010 Контроль неразрушающий. Контроль напряженно-деформированного состояния материала конструкций. Общие требования к порядку выбора методов. Введ. 2011-12-01. М.: Стандартинформ, 2011. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200082717> (дата обращения: 10.04.2019).
2. ГОСТ 19807-91 Титан и сплавы титановые деформируемые. Марки. Взамен ГОСТ 19807-74; введ. 1992-07-01. – М.: Государственный Комитет СССР по стандартам. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006390> (дата обращения: 07.04.2019).
3. Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства: справочник. М.: ВИЛС-МАТИ, 2009. 520 с.
4. Мутьлина И.Н. Материаловедение. Цветные металлы и сплавы на их основе: учебно-методический комплекс. М.: Проспект, 2017. 160 с.
5. Никитина Н.Е., Казачек С.В. Преимущества метода акустоупругости для неразрушающего контроля механических напряжений в деталях машин // Вестник научно-технического развития. 2010. № 4 (32). С. 18–28.