

## К ВОПРОСУ О ДИАГНОСТИКЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА ДИСКА ВАЛА ТРДД В ОБЛАСТИ ИЗЛОМА ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ РАЗГОННЫХ ИСПЫТАНИЙ

Яковлев Ю. О.<sup>1,2</sup>, Живушкин А. А.<sup>3</sup>, Соляр А. Я.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, [y.yakovlev93@yandex.ru](mailto:y.yakovlev93@yandex.ru)

<sup>2</sup>Учреждение науки ИКЦ СЭКТ, г. Санкт-Петербург

<sup>3</sup>АО «ОДК-Климов», г. Санкт-Петербург

*Ключевые слова:* динамический модуль упругости, метод динамического индентирования, механические свойства, газотурбинные установки, тепловые машины

В настоящее время большое внимание уделяется различным методам технической диагностики, которая позволяет на разных стадиях эксплуатации определять техническое состояние детали и выявлять критический момент возможных отклонений [1,2].

В настоящей работе представлены результаты исследований механических свойств жаропрочной конструкционной стали диска вала ГТУ после проведения разгонных испытаний. Измерения проводились методом динамического индентирования.

Целью работы является оценка механических характеристик (МХ) материала объекта контроля (ОК) в области, прилегающей к месту разрушения, и в конструктивно подобной области, где разрушение не произошло.

Для исследования были предоставлены два стальных фрагмента диска вала ТРДД (рис. 1), изготовленные из высоколегированной стали мартенситного класса, после прохождения циклических разгонных испытаний. В процессе испытаний отклонений в контролируемых параметрах ТРДД выявлено не было, однако при контроле в области отверстий переходного диска (далее по тексту – диск) была обнаружена трещина с выходом на поверхность. После дальнейшего демонтажа узла было выявлено, что трещина является сквозной и распространилась на 70 % длины соответствующей окружности. Схематичное изображение образовавшейся при испытаниях трещины показано на рис. 2.

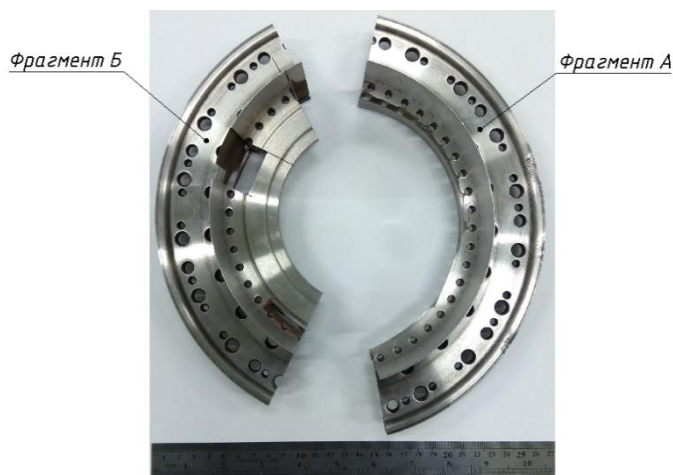


Рис.1 – Общий вид фрагментов диска

Для оценки механических характеристик материала в интересующих областях был выбран неразрушающий метод контроля – метод динамического индентирования (МДИ). Измерения проводились при помощи специализированного программного-аппаратного комплекса СПАК. Для проведения контроля была выбрана область между отверстиями, непосредственно прилегающая к месту разрушения на фрагменте с трещиной (фрагмент А) и аналогичная область на неразрушенном фрагменте Б.

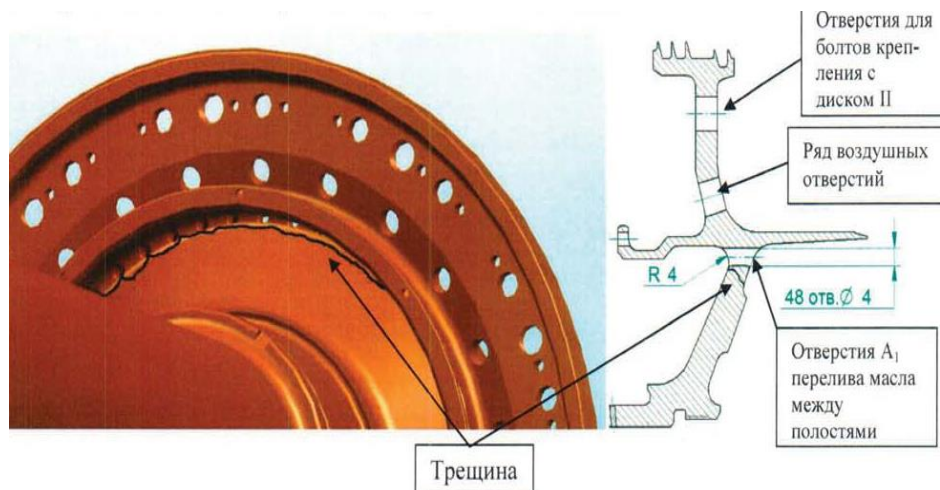


Рис.2 – Схематичное изображение образовавшейся трещины

На рис. 3 приведено условное изображение эскизов фрагментов А и Б, а также указаны контрольные точки. Выбор именно этих областей обусловлен, с одной стороны, близостью к месту разрушения, а с другой – возможностью расположения прибора на контрольной поверхности.

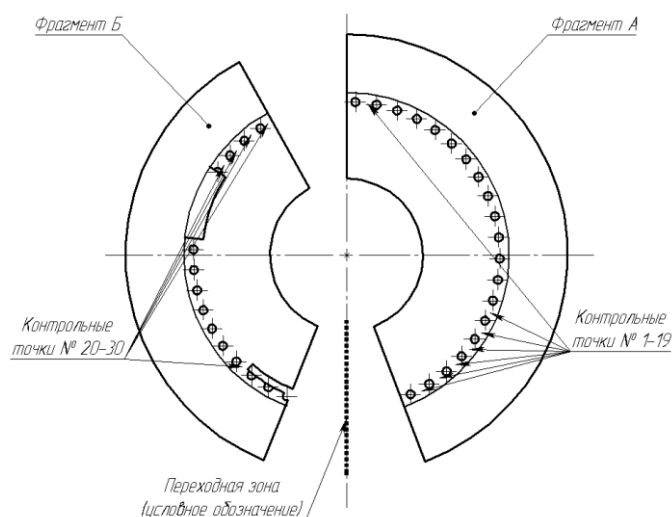


Рис.3 – Схематичное изображение образовавшейся трещины

Сравнительные результаты измерений показали значительное снижение упруго-прочностных свойств материала в области, непосредственно примыкающей к области разрушения вследствие изменения структуры материала, что отразилось на снижении таких механических характеристик материала, как твёрдость и модуль упругости (рис. 4-5).

По результатам проведённых исследований сделаны следующие выводы:

1. При установлении причины разрушения диска вала ТРДД необходимо учитывать особенности НДС в месте излома, результаты неразрушающего контроля механических свойств материала в области разрушения, а также результаты металлографических исследований.

2. Для получения уточнённой количественной оценки изменения механических свойств материала диска вала ТРДД в ходе испытаний необходимо проведение дополнительных исследований, программа которых должна быть согласована со специалистами по прочности, металлургии и материаловедению, а также по неразрушающему контролю.

3. Уточнённая количественная оценка должна включать обоснованный независимый параметр (или группу параметров), чувствительный к изменению структуры материала в ходе

воздействия на «горячие» элементы конструкции ТРДД эксплуатационных нагрузок и позволяющей оценивать их остаточную долговечность. В качестве такого параметра представляет интерес рассмотрение динамического модуля упругости материала, как комплексно характеризующего механические свойства конструкционных материалов.

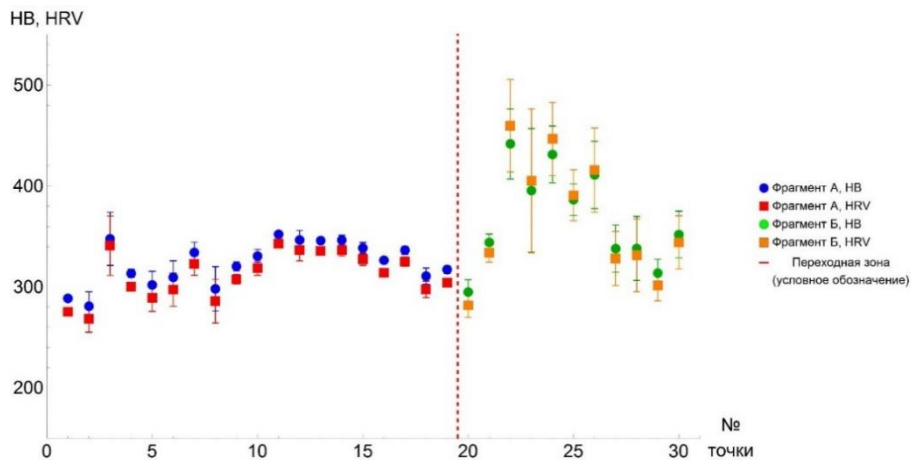


Рис.4 – Результаты измерений твёрдости по Бринеллю (HB) и Виккерсу (HRV)

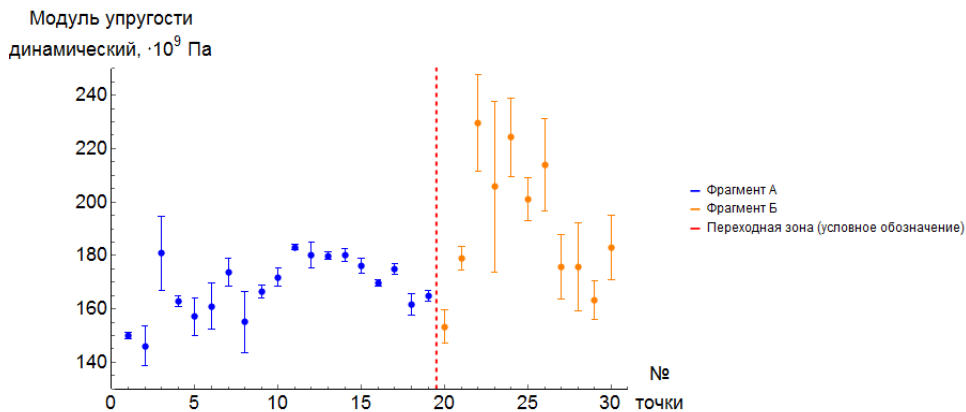


Рис.5 – Результаты измерений динамического модуля упругости

### Список литературы

1. Развитие пластических зон и повреждённости при различных видах нагружения. / Л.Р. Ботвина и др. М.: Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2013. Вып. 5. Т. 79. С. 46-55.
2. Федорченко Д.Г. Разработка методов оценки ресурса деталей авиационного ГТД в условиях многокомпонентного нагружения. – Самара: Известия Самарского центра РАН, 2013. Вып. 6. Т. 15. С. 148-154.

### Сведения об авторах

Яковлев Юрий Олегович, научный сотрудник. Область научных интересов: прочность и долговечность элементов тепловых машин.

Живушкин Алексей Алексеевич, ведущий специалист. Область научных интересов: материаловедение.

Соляр Анатолий Яковлевич, научный сотрудник. Область научных интересов: механика сплошных сред, прочность, долговечность.

# ON THE ISSUE OF DIAGNOSTICS OF MECHANICAL PROPERTIES BASED ON THE MECHANICAL CHARACTERISTICS MEASUREMENT RESULTS OF THE DISK MATERIAL OF THE TURBOFAN ENGINE SHAFT IN THE FRACTURE AREA AFTER THE ACCELERATION TESTS

Yakovlev Y.O.<sup>1,2</sup>, Zhivushkin A.A.<sup>3</sup>, Soliar A.Y.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Baltic State Technical University «VOENMEH», Saint-Petersburg, Russia, [y.yakovlev93@yandex.ru](mailto:y.yakovlev93@yandex.ru)

<sup>2</sup>Scientific Institution EDC SSS, Saint-Petersburg, Russia

<sup>3</sup>JSC «UEC-Klimov», Saint-Petersburg, Russia

*Keywords: dynamic indentation modulus of elasticity, dynamic indentation method, mechanical properties, gas turbine plants, heat-powered machines.*

Currently, much attention is paid to various methods of technical diagnostics, which allows at different stages of operation to determine the technical condition of the part and identify the critical moment of possible deviations.

This paper presents the results of studies of the mechanical properties of heat-resistant structural steel of the turbofan engine shaft after acceleration tests. The measurements were carried out by the dynamic indentation method.

The aim of the work is to assess the mechanical characteristics (MC) of the material of the object of control (OC) in the area adjacent to the place of destruction, and in a structurally similar area where the destruction did not occur.

For the study, two steel fragments of the turbojet engine shaft disk, made of high-alloy steel of the martensitic class, after passing cyclic acceleration tests were provided. During the tests, no deviations in the controlled parameters of the turbojet engine were detected, however, during testing afterwards, a crack was found in the area of the holes of the adapter disk (hereinafter referred to as the disk) with an exit to the surface. After further dismantling of the assembly, it was revealed that the crack is through and spread over 70% of the corresponding circumference.

To assess the MC of the material in the areas of interest, a non-destructive testing method was chosen – the dynamic indentation method (DIM). The measurements were carried out using a specialized software-hardware complex SPAK. For testing, an area between the holes was selected, directly adjacent to the place of destruction on a fragment with a crack (fragment A) and a similar area on an intact fragment B.

Comparative measurement results showed a significant decrease in the elastic-strength properties of the material in the region immediately adjacent to the fracture region due to a change in the structure of the material, which was reflected in a decrease in such mechanical characteristics of the material as hardness and elastic modulus.

Based on the results of the studies, the following conclusions were made:

1. When establishing the cause of the destruction of the turbofan shaft disk, it is necessary to take into account the features of the stress-strain state at the fracture site, the results of non-destructive testing of the mechanical properties of the material in the area of destruction, as well as the results of metallographic studies.

2. To obtain an updated quantitative assessment of the change in the mechanical properties of the turbofan shaft disk material during testing, additional research is required, the program of which must be agreed with specialists in strength, metallurgy and materials science, as well as in non-destructive testing.

3. The refined quantitative assessment should include a reasonable independent parameter (or a group of parameters) that is sensitive to changes in the structure of the material in the course of exposure to the “hot” elements of the turbofan engine's structure of operational loads and allows assessing their residual durability. As such a parameter, it is of interest to consider the dynamic modulus of elasticity of a material as a complex characterization of the mechanical properties of structural materials.