

УДК 620.178

## ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛА РАЗРУШЕННОГО РОТОРА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

И.С. Быков, гр. МШМ-141, I курс; Н.В. Быкова, аспирант 1 года обучения;

Научные руководители: Н.В. Абабков, к.т.н., доцент;

А.Н. Смирнов, д.т.н., профессор

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Роторы представляют собой один из самых ответственных узлов паровой турбины. Они несут на себе рабочие лопатки, образующие вместе с направляющими лопатками, расположенными в корпусе цилиндра, проточную часть турбины, и передают на генератор крутящий момент, возникающий от окружного усилия, развиваемого потоком пара на лопатках [1].

Конструкции роторов и применяемые при их изготовлении материалы определяются особенностями и условиями их работы: высокой частотой вращения, значительными усилиями от центробежных сил, длительным воздействием высоких температур и быстрым их изменением, коррозионно-эрозионным разрушением металла [2].

В условиях эксплуатации турбины ротор подвергается действию центробежных сил, крутящего и изгибающего моментов, растягивающих осевых сил и нагрузки от собственного веса при температуре 519–532 °С и частоте вращения 2700–3200 об/мин [3].

В практике эксплуатации паровых турбин известны следующие случаи серьезных аварий в результате повреждения роторов: авария на тепловой электростанции в США (штат Теннесси, 1974 г.); авария в России на Каширской ГРЭС-4 (октябрь 2002 г.); авария в Украине на одном из энергоблоков Приднепровской ТЭС (2007 г.); авария в России на ООО «Западно-Сибирский Металлургический Комбинат» (2010 г.) [3].

На одном из предприятий ОАО «ЕВРАЗ» произошло аварийное разрушение ротора паровой турбины №2 ПВС ОАО «ЗСМК» после 194 тыс. часов эксплуатации. Разрушение произошло в направлении, перпендикулярном оси ротора. В качестве объекта исследования был рассмотрен фрагмент разрушенного ротора паровой турбины высокого давления в виде диска шириной 50 мм, включающий с одной стороны поверхность излома. Разрушение произошло между 15 и 16 ступенями.

Исследованный образец изготовлен из стали 40Х2Н2МА (ГОСТ 4543-71). Металл образца был исследован: 1) спектрально-акустическим методом (ИВК «Астрон»), 2) рентгеноструктурным анализом и 3) просвечивающей дифракционной электронной микроскопией на тонких фольгах.

После этого было проведено сравнение полученных средних по материалу значений  $\sigma$  и  $\sigma_0$  с результатами измерения акустических характеристик

исследуемого металла. Установлено согласие между сравниваемыми данными. А именно, в участках материала изделия, в которых более высокие значения  $\sigma_0$ , т.е. в которых больший вклад вносит упругая составляющая напряжений, отмечается и более высокие значения времени задержки волн Релея –  $R$  и меньшие скорости их распространения –  $V$  [4].

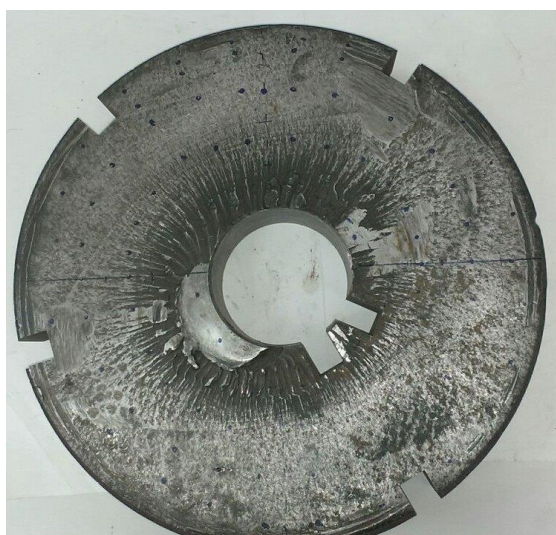
Поскольку одной из наиболее распространенных механических характеристик, определяющих качество металлов и сплавов, возможность их применения в различных конструкциях и при различных условиях работы, является твердость, следующим этапом исследования было решено провести измерение твердости.

Для измерения твердости использовался твердомер DuraVision 20 (рис. 2). Твердомер универсальный. Методы измерения – по Роквеллу, Бринеллю и Виккерсу. Диапазон нагрузок: DuraVision-20 от 1 до 250 кгс, 2-х и 14-ти кратное увеличение.



Рис. 2. Внешний вид универсального твердомера DuraVision 20

Измерения проводились со стороны поверхности излома: 1) по внешнему радиусу образца, 2) по среднему радиусу образца, 3) по внутреннему радиусу образца, а также 4) в трех точках вблизи осевого канала. Вблизи осевого канала измерения затруднялись в связи с плохим качеством поверхности для проведения измерений. Всего по всей поверхности образца измерению подлежали 81 участок. Аналогичным образом проводилось измерение твердости металла образца со стороны поверхности среза ротора. Схематическое изображение таких участков приведено соответственно на рис. 3.



а)



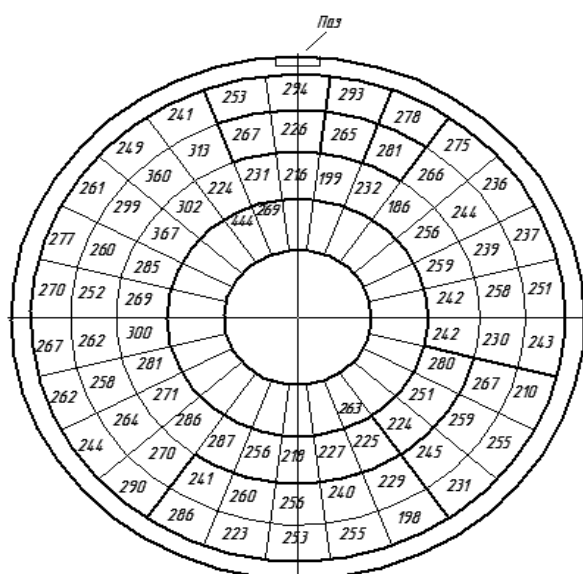
б)

Рис. 3. Схематическое изображение участков металла образца, в которых проводились измерения твердости:

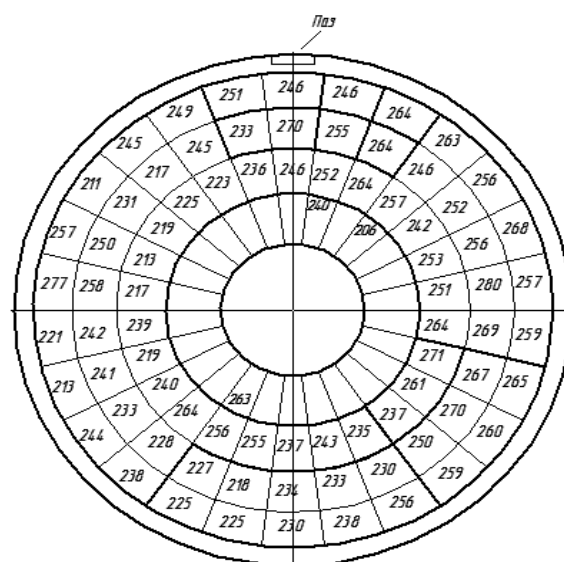
а – со стороны поверхности излома; б – со стороны среза ротора

Значение твердости определяли по методу Роквелла по шкале С. Затем при помощи таблицы соответствия значения твердости были переведены в шкалу измерения по методу Бринелля.

Результаты измерений представлены на рис. 4.



а)



б)

Рис. 4. Картина распределения твердости по поверхности образца:

а – со стороны излома; б – со стороны среза ротора

Из представленной схемы видно, что показатели твердости со стороны поверхности излома более неравномерны по своему значению по сравнению с показателями твердости, измеренными со стороны среза ротора. Это говорит

о том, что металл со стороны излома был подвержен значительным структурным изменениям.

Полученные результаты измерения твердости металла разрушенного образца планируется использовать в дальнейшем для проверки достоверности результатов исследования металла спектрально-акустическим методом.

### Список литературы

1. Смирнов, А.Н. Анализ повреждаемости роторов паровых турбин (обзор) / А.Н. Смирнов, Н.В. Быкова, Н.В. Абабков и др. // Вестник КузГТУ. №2, 2014. – С. 38–46.

2. Абабков, Н.В. Разработка экспериментальной установки для диагностики роторов паровых турбин по осевому каналу с применением спектрально-акустического метода контроля / Н.В. Абабков, А.Н. Смирнов, Н.В. Быкова // Инновации в машиностроении – основа технологического развития России: материалы VI МНПК – Барнаул: АлтГТУ, 2014. – Ч.1. – С. 7–12.

3. Смирнов, А.Н. О возможности применения акустических и магнитных методов для диагностики роторов турбин высокого давления / А.Н. Смирнов, Н.В. Абабков, Н.В. Воробьева // сб. док. IV Всерос., 57 науч.-прак. конф. «Россия молодая» / редкол.: В.Ю. Блюменштейн (отв. редактор) [и др.]; КузГТУ. – Кемерово, – 2012. – С. 158–161.

4. Смирнов, А.Н. Установление корреляционных зависимостей между акустическими и магнитными характеристиками металла разрушенного ротора паровой турбины и результатами электронной микроскопии / А.Н. Смирнов, Н.В. Абабков, Н.В. Быкова // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: сб. тр. V МНПК: в 2-х т. / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. Т.1. – С. 100–104.