

УДК: 621.165

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТУРБИН С ТРЕЩИНАМИ И ВЫБОРКАМИ ЛИТЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЯХ ТУРБИН

Радцевич В.Ф., Харченко К.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

Парк паровых турбин в нашей стране, как и в России в значительной степени изношен. Рассмотрим вопросы эксплуатации турбин с трещинами и выборками в литых корпусных деталях [1-3].

При обнаружении дефектов во время периодического контроля литых корпусных деталей паровых турбин, эксплуатирующихся при температуре пара 450°C и выше, ремонт сводится к выборке трещин и заварке выборок глубиной свыше 15% толщины стенки [2].

При заварке используется технология с применением электродов, дающих наплавленный металл различных классов - аустенитный (ЦТ-28, ЦТ-36, ЭА-395/9) или перлитный (ТМЛ-1, ТМЛ-4, ТМЛ-4у) - без последующей термической обработки для снятия напряжений. Высокий отпуск литых корпусных деталей (700...730°C) зачастую трудно выполним, ввиду их больших габаритов и опасности нарушить геометрию. Имеются рекомендации, как уменьшить остаточные напряжения в зоне сварки (например, прочеканка различными методами, подогрев и последующая тепловая выдержка), однако надежность ремонтных заварок остается явно недостаточной, что также связано с ухудшением структурного состояния основного металла в процессе длительной эксплуатации, приводящее к падению трещиностойкости. Указанное делает целесообразным уменьшение объема сварочных работ при ремонте литых корпусов путем эксплуатации деталей с трещинами и выборками, тем более что выборка дефектов, выполняемая вручную с помощью шлифмашинки, является одной из самых трудоемких операций.

В [2] описан подход и нормы при решении вопроса об оставлении дефектов на литых корпусных деталях. Обобщение опыта по ремонту литых корпусов паровых турбин в ряде зарубежных, главным образом европейских стран, а также российского опыта показывает, что в подавляющем числе случаев появление трещины на литой детали (литом корпусе цилиндра или клапана паровой турбины) не исключает возможности дальнейшей эксплуатации, но требует периодического контроля за развитием трещины и состоянием металла.

Кинетика трещины зависит от ее размеров, толщины стенки и уровня напряжений: статических от внутреннего давления и циклических, связанных температурными напряжениями при переменных режимах работы. В вопросах оставления трещин очень важен уровень запаса прочности, закладываемый конструкторами при проектировании турбины.

Практика эксплуатации показывает, что турбины российского (советского) производства спроектированы очень добротно, о чем свидетельствует опробованное продление срока их эксплуатации до 170...220 тыс. ч при проектном сроке 100 тыс. ч.

Рекомендации [1-3] относятся преимущественно к литым деталям из сталей 15Х1М1ФЛ, 20ХМФЛ и 20ХМЛ турбин АО «Ленинградский металлический завод» (АО «ЛМЗ»), ОАО «Турбомоторный завод» (ОАО ТМЗ) и ОАО «Турбоатом», наработка которых составляет не менее 50 тыс. ч, но не превышает 300 тыс. ч.

Предполагается, что трещины расположены в доступной для ремонта зоне.

Главный вопрос при обнаружении трещины - как быстро она будет развиваться.

Ресурс на стадии развития трещины под действием статической и циклической нагрузки определяется специализированной организацией путем сложных расчетов, поэтому в [2] приведены только основные требования к ним. Расчет проводится на основе закономерностей механики разрушения путем оценки коэффициента интенсивности напряжений у поверхностных несплошностей, выявляемых при неразрушающем контроле в

процессе эксплуатации, и использования кинетических уравнений роста трещин под действием статической и циклической нагрузки с учетом рабочей температуры и структурного состояния металла. Для корпусов клапанов расчет ресурса ведется из предположения, что предельная глубина трещин равна 0,75 толщины стенки, для корпусов цилиндров - полной толщине стенки. Если полученный при этом ресурс меньше принятого межремонтного периода, срок до очередного контроля уменьшается в соответствии с результатами расчета.

Исходными данными для проведения расчета ресурса корпуса с трещиной или выборкой являются статические напряжения от внутреннего давления при стационарном режиме работы, поля температур и номинальных температурных напряжений в корпусах, полученные для всех характерных переменных режимов работы турбины, а также размеры трещины.

На базе закономерностей механики разрушения Всероссийский теплотехнический научно-исследовательский институт (ОАО «ВТИ») провел оценку кинетики роста трещины применительно к условиям работы металла в корпусах практически всех российских турбин. Результаты были скорректированы с учетом эксплуатационного опыта, в результате чего были определены размеры трещин и выборок, которые могут оставаться на литой детали турбины высокого давления без исправления или заварки (таблицы 1, 2).

Таблица 1 – Глубина и длина единичных эксплуатационных трещин, оставляемых без выборки на поверхностях корпусных деталей турбин

Завод-изготовитель	Давление острого пара, МПа	Мощность, МВт	Размеры допустимых дефектов (глубина x длина в долях от толщины стенки) на деталях	
			клапаны	цилиндры
ОАО «ТМЗ»	9...11	≤ 50	0,1x0,7	0,15x1
	13	50...100	0,1x0,7	0,15x1
	24	250	Не допускаются	0,15x1
АО «ЛМЗ»	9...11	≤ 100	0,1x0,7	0,15x1
	13...24	50...300	0,1x0,7	0,15x1
	24	500..1200	Не допускаются	0,15x1
АО «Турбоатом»	9...11	≤ 50	0,1x0,7	0,15x1
	13	160	0,1x0,7	0,15x1
	24	300	0,1x0,7	0,15x1
	24	500	Не допускаются	Не допускаются

Таблица 2 – Глубина выборок, оставляемых без заварки на литых корпусных деталях паровых турбин

Завод-изготовитель	Давление острого пара, МПа	Мощность, МВт	Размеры допустимых дефектов (глубина x длина в долях от толщины стенки) на деталях	
			клапаны	цилиндры
ОАО «ТМЗ»	9...11	≤ 50	0,25/0,15	0,3/0,15
	13	50...100	0,25/0,15	0,3/0,15
	24	250	0,2/0,15	0,3/0,15
АО «ЛМЗ»	9...11	≤ 100	0,25/0,15	0,3/0,15
	13...24	50...300	0,25/0,15	0,3/0,15
	24	500..1200	0,2/0,15	0,25/0,10
АО «Турбоатом»	9...11	≤ 50	0,25/0,15	0,3/0,15
	13	160	0,25/0,15	0,3/0,15
	24	300	0,25/0,15	0,3/0,15
	24	500	0,25/0,15	0,3/0,15

Протяженность каждого дефекта устанавливается визуальным контролем и уточняется с помощью неразрушающих методов (МПД, УЗК, цветная дефектоскопия, травление, токовихревой метод и т.д.). После этого осуществляется фиксирование размеров трещины с помощью сверления или кернения, служащих исходными отметками для последующего контроля, а также являющихся препятствием для дальнейшего развития дефекта.

Если трещина расположена на обработанной поверхности, то до принятия решения о ее удалении глубина трещины определяется с помощью экспериментально найденного соотношения $h_T = 0,25 l_T$, где l_T - длина трещины, h_T - глубина, а также (для h_T менее 10 мм) с помощью неразрушающих методов контроля: УЗК, токовихревого и т.д.

Для оценки остаточного ресурса детали в зоне трещины необходимо знать толщину оставшегося сечения, являющегося разницей между толщиной стенки и глубиной трещины. Толщина стенки детали в зоне трещины определяется с помощью ультразвукового толщиномера, при этом в качестве эталона следует использовать фланцы или лапы крепления этой же детали, толщина которых определяется штангенциркулем или другим мерительным инструментом. Иногда толщину стенки оценивают с помощью мерительных скоб и других механических приспособлений.

Размеры трещины целесообразно занести в протокол визуального обследования, в котором, кроме того, следует указать наработку детали, и интервал времени, за который образовалась трещина. В протоколе также указывают срок проведения следующего контроля.

Варианты ремонта рекомендуются, исходя из повышенной роли термических напряжений при образовании трещин на внутренней поверхности, вследствие чего после начального быстрого развития обычно происходит остановка их роста.

В связи с этим трещина на внутренней поверхности, расположенная в других зонах, оставляется без выборки, если размеры меньше допустимых по таблице 1, и удаляется (а выборка оставляется без подварки), если размеры не превосходят допустимые по таблице 2. При этом трещина удаляется, а выборка подваривается, если размеры образовавшейся выборки превосходят допустимые.

Напротив, появление трещин с наружной стороны в большей мере связано с ползучестью, поэтому их удаление желательно, так как при этом удаляется и поврежденный ползучестью слой металла.

Трещину на наружной поверхности, как правило, следует удалить полностью, выборку при размерах больше допустимых - подварить. Исключение может быть только для зон, где рабочая температура металла ниже 400°C : там трещина удаляется, если размеры ее больше допустимых, выборка при размерах больше допустимых – подваривается.

Как правило, наиболее высокие температуры и напряжения наблюдаются на паровпускных патрубках, патрубках отбора (паровыпускных), у дренажных отверстий, а также в примыкающей к ним зоне шириной 50 мм (рисунок 1).

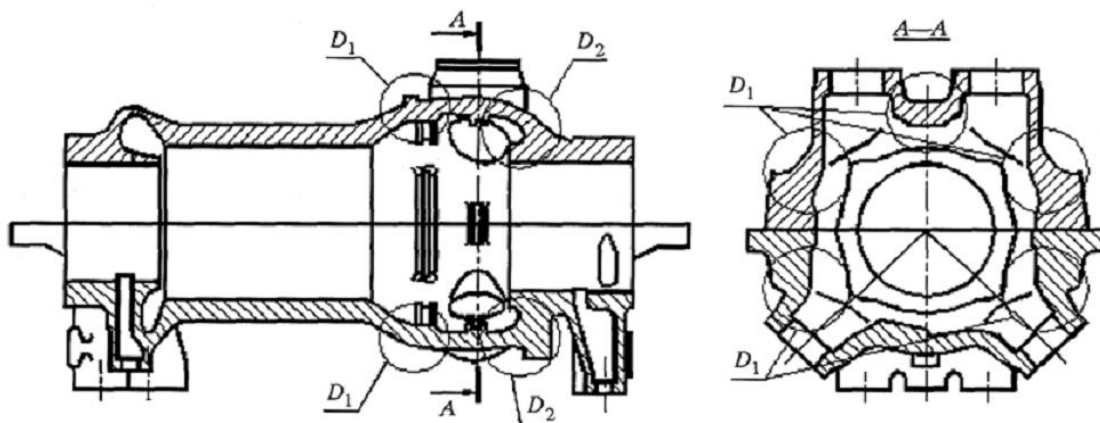


Рисунок 1. Зоны наиболее вероятного возникновения трещин ЦВД турбины Т-100/120-130

Поэтому трещины, образовавшиеся в этих зонах, подлежат обязательному удалению.

Весьма опасными, с точки зрения возможных паровых свищей, могут быть трещины на поверхности фланцевого разъема, поэтому их оставлять недопустимо почти во всех случаях, особенно, если дефект выходит на его кромку.

Нормы на допустимые дефекты и выборки, указанные в таблицах 1 и 2, действуют, если межремонтный срок не превышает 5 лет, а число пусков за этот период не более 100.

На детали могут быть оставлено несколько единичных дефектов указанного в таблице 2 размера при условии, что расстояние между ближайшими точками не менее 200 мм.

Вопрос об оставлении трещин и выборок, если в одной и той же зоне дефекты располагаются одновременно с внутренней и наружной сторон детали, решает специализированная организация. В случае ремонта в зоне, где дефекты обнаруживались ранее, при определении допустимых размеров трещин и выборок за основу принимается номинальная толщина стенки детали (по чертежу).

В тех случаях, когда размер трещин или выборок превосходит указанный в таблицах 1, 2 или их расположение не соответствует рекомендациям, срок эксплуатации и до очередного контроля определяет специализированная организация расчетным путем.

За оставленными трещинами необходим периодический контроль, осуществляемый во время капитального ремонта, если специализированная организация не назначит более частое обследование. Контроль осуществляется в соответствии с типовой инструкцией по контролю и продлению срока службы металла основных элементов котлов, турбин и трубопроводов тепловых электростанций.

Литература

1. Повышение эффективности эксплуатации паротурбинных установок ТЭС Я АЭС. Том 1. Совершенствование паровых турбин / Л.А. Хоменок, А.Н. Ремезов, И.А. Ковалев и др. Под ред. Л.А. Хоменок - СПб.: Изд. ПЭИпк, 2001 г. 340 с.
2. СТО ЦКТИ 10.049-2013 Устранение дефектов в литых деталях энергооборудования с применением сварки без последующей термической обработки / ВТИ. М. 2013.
3. РД 153-34.01-17.456-98 Методика определения возможности эксплуатации с трещинами и выборками литых корпусных деталей турбин с давлением пара более 9 МПа / ВТИ. М. 1998.