

В. Е. Семук, Н. В. Пантелей (БНТУ, Минск)

## **Коррозионные повреждения дисков и лопаточного аппарата паровых турбин и мероприятия по их предотвращению**

Коррозионные повреждения рабочих лопаток различной интенсивности в виде язвенной коррозии, коррозионной усталости и коррозионного растрескивания под напряжением, часто связанных с поломками лопаток, наблюдаются в зоне фазового перехода (зона влажного пара от состояния сухого насыщенного пара до влажности порядка 6%) практически на всех типах конденсационных и теплофикационных турбин как без промперегрева, так и с промперегревом, работающих с барабанными и прямоточными котлами. Коррозионные повреждения лопаточного аппарата обычно локализуются в начальной зоне фазового перехода, однако при существенном ухудшении качества свежего пара перед турбиной могут подвергаться коррозионным повреждениям рабочие лопатки всех ступеней, работающих в области влажного пара.

Можно констатировать, что коррозионные повреждения рабочих лопаток турбин в зоне фазового перехода появляются на тех тепловых электростанциях, где по разным причинам не обеспечивается необходимый уровень качества свежего пара перед турбинами. В этих условиях коррозионная повреждаемость зависит также от длительности эксплуатации турбин и может проявляться уже при небольшой наработке.

У большинства турбин в зоне фазового перехода (ЗФП) используются насадные диски.

Наиболее распространенными местами коррозионного растрескивания дисков являются зоны: продольного шпоночного паза (85%), разгрузочных отверстий (80%), заклепочных соединений (30%), ступичной части и полотна диска (10%). На отдельных турбинах обнаруживали повреждения одновременно нескольких дисков и на одном диске несколько зон повреждений.

### **Причины возникновения коррозионных повреждений дисков и лопаточного аппарата**

Одной из причин возникновения коррозионных повреждений дисков и лопаточного аппарата является качество свежего пара. Процесс

коррозионного повреждения элементов проточной части турбины в зоне фазового перехода комбинированный и протекает в присутствии коррозионно-агрессивных примесей в свежем паре и при повышенных механических напряжениях.

Коррозионно-агрессивными примесями свежего пара являются соединения натрия ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ),  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , соединения кальция и магния ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ), оксиды меди и железа высших степеней валентности ( $\text{CuO}$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), органические и неорганические кислоты. Хлориды и сульфаты выполняют роль депассиваторов, разрушающих защитную пленку на поверхности металла; ионы трехвалентного железа и двухвалентной меди являются деполяризаторами, стимулирующими развитие локальных коррозионных процессов; ионы натрия в особенности при наличии едкого натра вызывают межкристаллитное коррозионное растрескивание. Органические соединения вносят с собой хлориды, сульфаты, натрий, кремниевую кислоту и др. Продукты термоллиза органических соединений способны понижать рН первичного конденсата, стимулируя интенсивность коррозионных повреждений металла в зоне фазового перехода. Коррозионные повреждения элементов проточной части турбины происходят в результате общей и язвенной коррозии, коррозионной усталости (преимущественно рабочие лопатки), коррозионного растрескивания под напряжением (в основном диски).

#### **Коррозионная стойкость металла дисков и лопаток**

Коррозионная повреждаемость дисков связана с механическими и химическими свойствами стали. Насадные диски паровых турбин изготавливаются в основном из сталей 34ХН1М, 34ХН3М, 35ХН1М2ФА и 30Х2НМФА. Указанные стали имеют одинаковую сопротивляемость коррозионному растрескиванию. Установлено, что одним из путей повышения сопротивления коррозионному растрескиванию является снижение в стали вредных примесей, углерода и газов и уменьшение неоднородности их распределения в объеме металла между границами и телом зерна. Хороший результат получен также при внедрении процесса раскисления стали углеродом в вакууме (УВРВ).

#### **Коррозионная стойкость лопаточных сталей**

Как правило, зарождению коррозионно-усталостной трещины предшествует образование на поверхности лопаток коррозионных язв или питтингов, которое можно наблюдать задолго до разрушения лопаток. По степени изъязвления поверхности лопаток конкретных ступеней можно с определенной точностью прогнозировать их эксплуатационную надежность. Кроме того, имеется принципиальная возможность по морфологии язв, их

распределению судить о той коррозионно-активной среде, которая сформировалась на поверхности лопаток в данной зоне.

На рис. 1 и 2 приведены номограммы, характеризующие склонность широко применяемой лопаточной стали 20X13Ш к питтингообразованию. С учетом условий эксплуатации лопаток 3-х и 4-х ступеней ЧНД турбин К-300-240 по степени их изъязвления с помощью этих номограмм установлено, что на поверхности этих лопаток концентрация хлоридов может превышать  $100 \text{ мкг/см}^2$ , а на лопатках 5-х ступеней этих турбин концентрация хлоридов обычно находится на уровне  $10\text{--}100 \text{ мкг/см}^2$ .

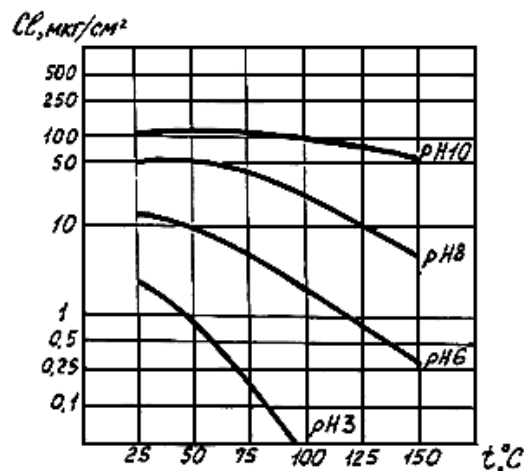


Рис. 1. Зависимость критической концентрации хлор-ионов Cl от температуры  $t, ^\circ\text{C}$  и pH для стали 20X13Ш

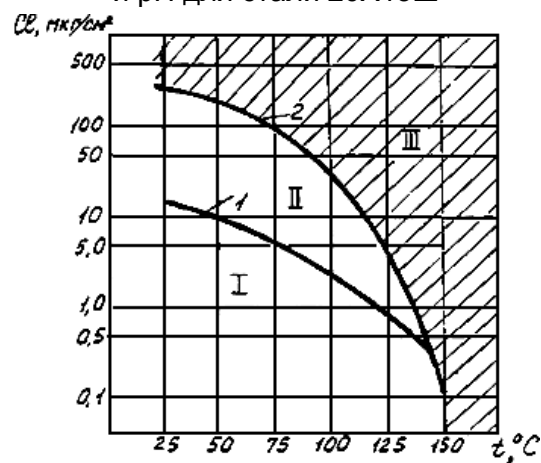


Рис. 2. Зависимость процесса коррозии стали 20X13Ш от концентрации хлор-ионов Cl и температуры среды  $t, ^\circ\text{C}$  при pH 6: критическая концентрация хлоридов при: 1 – зарождении питтингов; 2 – активировании поверхности; зоны: I – отсутствия коррозионных повреждений; II – питтингообразования; III – активирования поверхности (общая коррозия)

Усталостная прочность лопаток существенно зависит от коррозионной поврежденности поверхности. В качестве критериев эксплуатационной

надежности рабочих лопаток, работающих в зоне фазового перехода турбин, целесообразно принять степень коррозионной поврежденности поверхности, выраженную диаметром самых крупных язв и определенную расчетным либо опытным путем из данных анализа результатов исследования разрушенных в эксплуатации лопаток.

Для оценки коррозионного состояния поверхности лопаток целесообразно использовать две шкалы: 1 – классифицирующую коррозионную поврежденность лопаток (таблица 1) по максимальному диаметру язв (для оценки степени снижения усталостной прочности лопаток); 2 – классифицирующую лопатки (таблица 2) по плотности распределения язв (для накопления информации, которая поможет со временем получить данные о состоянии коррозионной среды).

**Таблица 1**

**Шкала I. Максимальные размеры язв**

Классификационная группа	Максимальный размер язв, мм	Коэффициент влияния коррозии
1 балл	0,1	< 1,2
2 балл	0,1-0,5	1,2-1,5
3 балл	0,5-1,0	1,5-1,7
4 балл	1,0-2,0	1,7-2,1
5 балл	2,0-4,0	2,1-2,9
	И (или) травление поверхности	
6 балл	Общая коррозия с потерей профиля	> 2,9

**Таблица 2**

**Шкала II. Плотность распределения язв**

Классификационная группа	Плотность язв, шт./см <sup>2</sup>
А	до 2
Б	2-10
В	10-100
Г	более 100

## **Режимы эксплуатации энергетических установок и отклонения в условиях их работы**

Температура свежего пара и промперегрева оказывает влияние на уровень температуры фазового перехода. Экспериментальные исследования отечественных и зарубежных авторов указывают на существенное влияние температуры среды на скорость протекания коррозионных процессов. Температура среды в зоне фазового перехода, в которой происходят коррозионные процессы, зависит от конструктивного выполнения турбины и параметров свежего пара и промежуточного перегрева пара.

Таким образом, для предотвращения коррозионных повреждений дисков и лопаточного аппарата турбины необходимы:

1. Контроль за металлом насадных дисков.
2. Контроль за металлом рабочих лопаток.
3. Нормирование качества свежего пара перед турбинами.
4. Автоматизированный химический контроль за качеством свежего пара.
5. Применение ингибирующих присадок в пар перед зоной фазового перехода турбины.
6. Выбор материала дисков и рабочих лопаток ступеней турбин в зоне фазового перехода при высокой минерализации исходной воды.
7. Консервация оборудования турбинных установок при их останове.

### **Список литературы**

1. РД 34.30.507-912, М.: изд-во ВТИ, 1993.
2. РД 34.37.303-88, М.: изд-во ВТИ, 1993.
3. РД 34-20.591-87, М.: изд-во ВТИ, 1987.

**УДК 621.181**

**Е. В. Богдан, Н. Б. Карницкий (БНТУ, Минск)**

## **Повышение эффективности использования детандер-генераторных установок на тепловых электростанциях**

Получение электрической энергии с применением ресурсосберегающих и природоохранных технологий становится все более актуальным. Одно из таких направлений – использование потенциальной энергии