

УДК 621.311

## КОРРОЗИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ДИСКОВ И ЛОПАТОЧНОГО АППАРАТА ПАРОВЫХ ТУРБИН И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ

Пантелей В.Е.

Научный руководитель – старший преподаватель Пантелей Н.В.

Коррозионные повреждения рабочих лопаток различной интенсивности в виде язвенной напряжением (часто связанных с полочками лопаток) выявлены в зоне фазового перехода (зона влажного пара от состояния, сухого насыщенного пара до влажности порядка 6 %) практически коррозии, коррозионной усталости и коррозионного растрескивания под и 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. Заготовки дисков паровых турбин в зависимости от требований, предъявляемых к ним по условиям работы, изготавливаются пяти категорий прочности из перлитных сталей (хромоникельмолибденовых и хромоникельмолибденованадиевых) в соответствии с требованиями ТУ 108.1028-31. Каждая заготовка диска подвергается ультразвуковому контролю с помощью прямых и призматических искателей.

### Причины возникновения коррозионных повреждений дисков и лопаточного аппарата 1 Качество свежего пара перед турбинами

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 деполаризаторами, 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).

Повышение температуры первичного конденсата в ЗФП интенсифицирует коррозионный процесс в проточной части турбины. При увеличении температуры среды в диапазоне ее рабочих значений от 70 до 140 °С скорость роста трещин возрастает почти на два порядка.

Для определения качества первичного конденсата в ЗФП могут быть использованы пробоотборные устройства НПО ЦКТИ, концентраторы и сепараторы ВТИ.

Целью химического контроля является быстрое выявление любых отклонений показателей качества теплоносителя от установленных для данного ВХР и причин этих отклонений с целью принятия мер по их ликвидации.

Основной причиной ухудшения качества пара прямооточных котлов на энергоблоках СКД является ухудшение качества питательной воды из-за: подачи части турбинного конденсата помимо БОУ через байпас; несвоевременного переключения конденсата греющего пара сетевых подогревателей в тракт перед БОУ при появлении присосов сетевой воды; использования как добавочной воды дистиллата низкого качества испарителей без доочистки на БОУ; ухудшения качества обессоленного конденсата вследствие; присосов охлаждающей воды в конденсаторах; нарушения норм качества обессоленной добавочной воды; попадания масляных паров в турбинный конденсат через систему концевых уплотнений турбины, замасливания фильтрующих материалов БОУ и снижения их эффективности, образования в паре органических кислот при разложении попавших в него масляных загрязнений; нарушения регламента работы БОУ (несвоевременное отключение ионообменных фильтров на регенерацию, некачественная отмывка фильтров).

Причинами ухудшения качества питательной воды являются: присосы охлаждающей воды в конденсаторах турбин; присосы сетевой воды в подогревателях сетевой воды и других теплообменниках, охлаждаемых сырой водой; неэффективная очистка возвратного замасоченного конденсата на установках, выполненных по схеме Na-катионирования; низкое качество добавочной воды, обусловленное неудачными проектными решениями, нарушениями режима эксплуатации ВПУ и др.; низкое качество дистиллата испарителей, используемого в качестве добавочной воды; использование конденсата, возвращенного с производства и содержащего потенциально кислые или щелочные соединения; неэффективное удаление углекислоты в деаэраторах и теплообменниках, обуславливающее повышенное содержание  $\text{CO}_2$  в паре, уменьшение значения pH.

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

Коррозионная повреждаемость дисков связана с механическими 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).

Эксплуатация турбинных дисков с трещинами недопустима. Но для оценки периодичности осмотра предполагается, что сразу же после ввода в эксплуатацию проконтролированных дисков в них образуются трещины, которые начинают расти до критического размера, после чего возможно хрупкое разрушение диска.

### **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 рисунках 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 мкг/см<sup>2</sup>, а на лопатках 5-х ступеней этих турбин концентрация хлоридов обычно находится на уровне 10–100 мкг/см<sup>2</sup>.

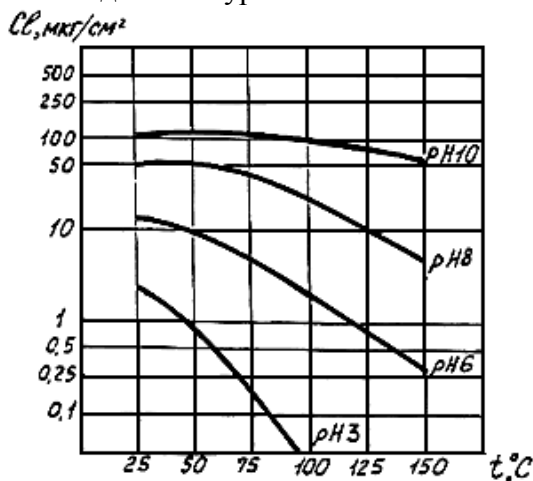


Рисунок 1 – Зависимость критической концентрации хлор-ионов от температуры и pH для стали 20X13Ш

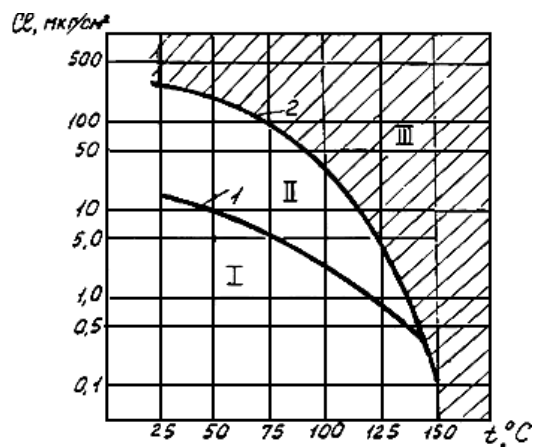


Рисунок 2 – Зависимость процесса коррозии стали 20X13Ш от концентрации хлор-ионов и температуры среды при pH 6: критическая концентрация хлоридов при: (1 – зарождении питтингов; 2 – активировании поверхности); зоны: I – отсутствия коррозионных повреждений; II – питтингообразования; III – активирования поверхности (общая коррозия)

Усталостная прочность лопаток существенно зависит от коррозионной поврежденности поверхности.

На рисунке 3 приведен график зависимости коэффициента влияния коррозионной поврежденности поверхности на усталостную прочность лопаточной стали от максимального диаметра язв. Предел усталостной прочности лопаток с коррозионными язвами диаметром до 3 мм ниже предела усталостной прочности новых лопаток в 2,5 раза. Плотность распределения язв не оказывает существенного влияния на усталостную прочность стали.

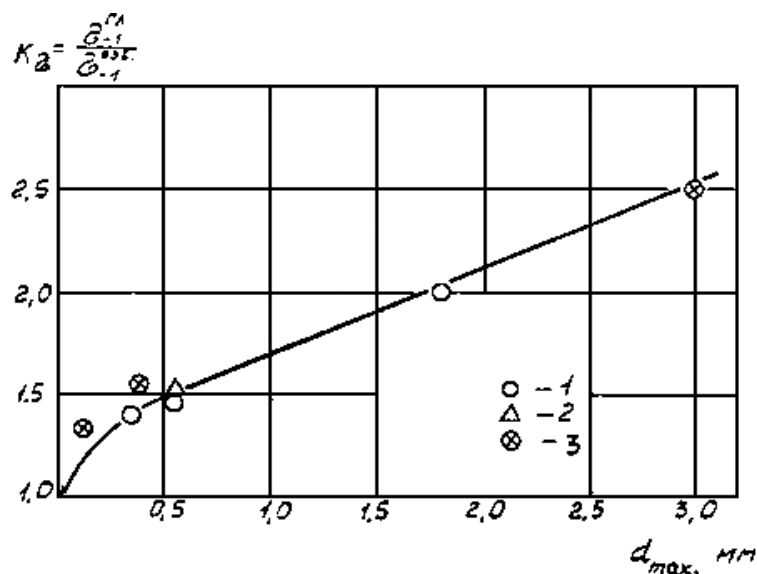


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента влияния коррозионной поврежденности поверхности на усталостную прочность стали 20X13Ш от максимального диаметра язв: результаты испытаний: образцов с искусственными коррозионными язвами длиной 5 мм (1), 4 шт./см<sup>2</sup> и 1 мм (2), 100 шт./см<sup>2</sup>; лопаток турбин с естественными коррозионными повреждениями (3)

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 необходимо использовать две шкалы: 1 – классифицирующую коррозионную поврежденность лопаток (табл. 1) по максимальному диаметру язв (для оценки степени снижения усталостной прочности лопаток); 2 – классифицирующую лопатки (табл. 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 $K = \sigma_{-1}^{пл} / \sigma_{-1}^{язв}$
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

### **3 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.

#### **Предотвращение коррозионных повреждений дисков и лопаточного аппарата турбины:**

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. Материал дисков и рабочих лопаток ступеней турбин в зоне фазового перехода при высокой минерализации исходной воды.
7. Консервация оборудования турбинных установок при их останове.

#### **Литература**

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. ВТИ, 1987.