

## Контроль состояния металла гибов трубопроводов Ижевской ТЭЦ-2, работающих в условиях высоких температур

Страхов В.А.<sup>1</sup>, Голиков В.М., Пермикин В.С., Добрушкин Л.С., Бархатова Т.И., инженеры

Ижевская ТЭЦ-2 — АО «Уралтехэнерго»

**Обобщен опыт диагностики микроповрежденности структуры металла гибов высокотемпературных паропроводов Ижевской ТЭЦ-2. Доказано, что обследование, включающее измерение деформации ползучести, скорости ультразвуковых волн и оценку плотности микропор всех гибов паропровода, повышает достоверность прогноза его остаточного ресурса.**

Обеспечение надежной и безопасной эксплуатации гибов высокотемпературных паропроводов котлов и турбин, отработавших свой парковый ресурс, является одной из важнейших задач для тепловых электростанций. Связано это с тем, что разрывы гибов паропроводов приводят к крупным разрушениям, а замена паропровода — операция достаточно дорогостоящая.

Периодический контроль металла гибов паропроводов<sup>2</sup> по ряду причин не обеспечивает в полной мере их надежную эксплуатацию. Применяемые в настоящее время неразрушающие методы дефектоскопии гибов (ультразвуковая, магнитопорошковая и цветная) позволяют обнаруживать только макродефекты плотности металла. Промежуток времени, в течение которого происходит развитие дефектов (трещин), возникающих в процессе эксплуатации, от зарождения до разрушения гига значительно меньше планового межремонтного периода, который в лучшем случае может составлять 7...8 тыс.ч. Это значит, что весь процесс от зарождения трещины до разрушения может совершаться в межремонтный период. Этим и объясняется малая эффективность контроля, основанного на традиционных неразрушающих методах.

Образование трещины как эксплуатационного дефекта в гигах паропроводов, работающих при высоких температурах и давлении, — это только завершение процесса ползучести, который происходит в металле. Классическое представление процесса ползучести — зависимость остаточной деформации от времени — приведено на рис. 1.

На третьей стадии ползучести (рис. 1 и 2) в металле образуются микропоры размером 1...5 мкм, достаточно надежно выявляемые после многократных полировок и травлений. Они видны в оптический микроскоп при

увеличениях в 500 раз и более как на самом шлифе, так и на оттисках (репликах) с него. Однако ввиду трудоемкости приготовления шлифов непосредственно на оборудовании последний метод применяется только для выборочного контроля гибов.

Остаточная деформация (крипп) паропроводов, изготовленных из сталей 15ХМ, 12Х1МФ и 15Х1МФ, может достигать нескольких процентов, т.е. является вполне информативным параметром, по которому можно оценить остаточный ресурс паропровода. Но его ис-



Рис. 1. Кривая ползучести

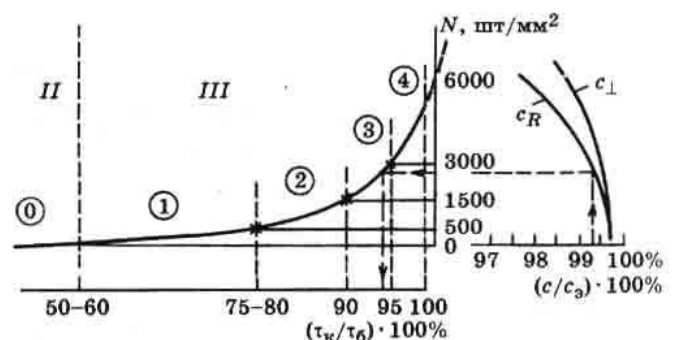


Рис. 2. Зависимость скорости ультразвуковых волн от плотности пор на третьей стадии ползучести.

$N$  — плотность пор ползучести на поверхности шлифа;  $c_R$  — скорость поверхностных волн;  $c_{\perp}$  — скорость сдвиговых волн;  $c_s$  — скорость соответствующей волны в эталоне;  $\tau_k$  — продолжительность работы на момент контроля;  $\tau_b$  — длительность безопасной эксплуатации; цифры 0...4, обведенные кружками, — балл микроповрежденности металла порами ползучести

<sup>1</sup> 426039, г. Ижевск, Воткинское ш., 13 км. Ижевская ТЭЦ-2.

<sup>2</sup> РД 34.17.421-92. Типовая инструкция по контролю и продлению срока службы металла основных элементов котлов, турбин и трубопроводов тепловых электростанций. М., 1982.

пользование ограничивается рядом факторов. Наиболее интенсивно процесс ползучести происходит на гнутых участках паропроводов — гйбах, а реперы для измерения деформации ползучести гйбов устанавливаются на прямых участках. Поэтому деформацию ползучести растянутой зоны гйба по данным, полученным с его прямого участка, можно оценить лишь косвенно.

Метод оценки деформации ползучести по измерению овальности гйба в одном-трех сечениях отмечается высокой случайной погрешностью ввиду плохой воспроизводимости положения сечения, в котором производится измерение.

Определение состояния металла по вырезке из прямого участка так же, как и крипп дает лишь косвенное представление о состоянии гйба.

Между тем каждый гйб следует рассматривать как объект, обладающий индивидуальным комплексом характеристик, определяющих при данных параметрах эксплуатации (температуре и внутреннем давлении) его долговечность. После изготовления каждый гйб имеет свою структуру, форму поперечного сечения, утонение в растянутой зоне. Из-за различного положения в трассе паропровода гйбы испытывают разные воздействия напряжений, возникающих вследствие весовых нагрузок и теплового расширения металла.

Исходя из представления, что каждый гйб обладает индивидуальными особенностями, а основными информативными параметрами, с помощью которых можно оценить степень ползучести, являются деформация ползучести и плотность микропор в структуре металла, для оценки состояния металла гйбов паропроводов предлагается следующее:

обследование всех гйбов паропровода для определения остаточного ресурса каждого из них;

поиск на каждом гйбе (на выпуклой его части) наиболее поврежденного участка.

Оценка состояния металла гйбов включает в себя следующие методы:

измерение формы сечения гйба для поиска экстремальных значений овальности или локальной кривизны; акустический, разработанный Б.В. Бархатовым и основанный на зависимости скорости ультразвуковых волн от плотности пор ползучести;

металлографический метод определения поврежденности металла с помощью портативных микроскопов ( $\times 500 \dots 1000$ ), позволяющих избежать ошибок при приготовлении шлифов.

Такой комплексный подход к определению состояния металла и его остаточного ресурса позволяет повысить достоверность оценки, поскольку решение принимается не по одному параметру, как в классическом методе оттисков, а по четырем: деформации ползучести, плотности пор, скорости волн Реллея и скорости сдвиговых волн (см. рис. 2).

Одной из первых электростанций, на которой внедрен данный подход, является Ижевская ТЭЦ-2 (ИТЭЦ). Начиная с 1992 г., на этой ТЭЦ были обследо-

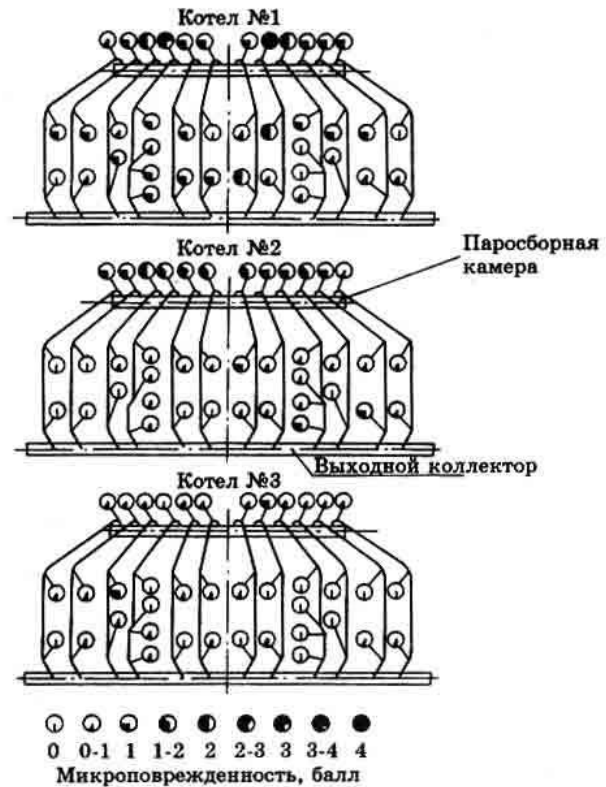


Рис. 3. Микроповрежденность гйбов пароперепускных труб последней ступени котлов ТП-87 ИТЭЦ-2

ваны гйбы главных паропроводов и пароперепускных труб последней ступени трех котлов ТП-87, ряд турбинных, секционных и растопочных паропроводов. Всего обследовано более 200 гйбов и некоторые из них даже повторно, что позволяет оценить скорость накопления поврежденности в них, а значит составить более достоверный прогноз. На схемах пароперепускных труб ( $D = 133 \times 17$  мм) последней ступени котлов (рис. 3) представлено состояние каждого гйба, оцененное в баллах микроповрежденности согласно табл. 1. В табл. 2 приведены результаты этой оценки и параметры эксплуатации котлов.

Из рис. 3 видно, что не все гйбы имеют одинаковую степень поврежденности — наиболее поврежденные расположены в основном при входе в паросборную камеру. Большая часть гйбов имеет поврежденность не выше 1 балла и может быть оставлена в эксплуатации до проведения следующего контроля на 30...70 тыс. ч.

После такого полного обследования были составлены графики следующего контроля, уже выборочного: гйбы с баллом 0 — через 70 тыс.ч, баллом 1 — через 30, а с баллом 2 — через 15 тыс.ч (табл. 2). Гйбы, оцененные баллами 3 и 4, были заменены сразу после выполнения контроля.

Аналогичное неравномерное распределение гйбов по их состоянию было обнаружено при обследовании и других паропроводов ИТЭЦ-2. Так, один из гйбов главного паропровода котла ст. № 1 имел микроповрежденность, оцененную баллом 4. В связи с тем, что по-

Таблица 1. Шкала поврежденности микроструктуры паропроводов из стали 12Х1МФ

Микрповрежденность, балл <sup>1</sup>	Металлографическая характеристика распределения микропор ползучести при увеличении в 500 раз и более	Плотность микропор, шт./мм <sup>2</sup> поверхности шлифа <sup>2</sup>
0	Поры отсутствуют	0
1	Единичные округлые поры	До 500
2	Отдельные поры и цепочки пор	500...1500
3	Цепочки пор, часть пор в цепочках слилась между собой	1500...3000
4	Большинство пор в цепочках неразличимы — микротрещины	Более 3000

<sup>1</sup> Номера баллов соответствуют классификации, предложенной ВТИ (Москва).

<sup>2</sup> Плотность микропор приведена для трубопроводов  $D = 133 \times 16$  (17),  $D = 219 \times 24$  (25),  $D = 273 \times 32$ , работающих при  $t = 550...560$  °С,  $p = 13...14$  МПа, металл которых имеет феррито-карбидную структуру.

Таблица 2. Распределение гибов пароперепускных труб последней ступени котлов ТП-87 ИТЭЦ-2 по баллам микрповрежденности

Количественные характеристики	Балл микрповрежденности					Станционный номер котла, параметр эксплуатации
	0	1	2	3	4	
Количество гибов	5	29	4	1	1	№ 1 $t = 555$ °С $p = 13,8$ МПа; Число пусков — 171; $\tau_k = 126\,755$ ч
Доля гибов, %	12,5	72,5	10	2,5	2,5	
Промежуток времени до следующего контроля, тыс. ч	70	30	15	8	0	
Количество гибов	8	26	6	0	0	№ 2 $t = 556$ °С $p = 13,7$ МПа; Число пусков — 118; $\tau_k = 129\,702$ ч
Доля гибов, %	20	65	15	—	—	
Промежуток времени до следующего контроля, тыс. ч	70	30	15	—	—	
Количество гибов	15	25	0	0	0	№ 3 $t = 556$ °С $p = 13,8$ МПа; Число пусков — 105; $\tau_k = 117\,189$ ч
Доля гибов, %	37,5	62,5	—	—	—	
Промежуток времени до следующего контроля, тыс. ч	70	30	—	—	—	

сле более детального контроля ни на лобовой части, ни на внутренней поверхности нейтральной зоны гiba трещин обнаружено не было, гиб был оставлен в эксплуатации на 4 тыс. ч. Спустя 3 тыс. ч после первого обследования на том же участке был приготовлен шлиф и обнаружено растрескивание размером 3...4 мм. Плотность микропор ползучести и значение скоростей ультразвука не изменились. Это говорит о том, что на данном этапе ползучести образования пор уже не происходит, а деформация ползучести увеличивается из-за образования и роста макродефектов — трещин.

Общая поврежденность гибов главного паропровода и пароперепускных труб котла ст. № 1 больше поврежденности гибов котла ст. № 2. Параметры эксплуатации и продолжительность работы на момент контроля примерно одинаковы, но на первом котле было произведено значительно больше пусков. Таким образом, большая поврежденность вполне объяснена тем фак-

том, что малоцикловая усталость, возникающая из-за термических напряжений при пусках и остановках оборудования, ускоряет процессы ползучести металла, поэтому число пусков, особенно из холодного состояния, необходимо учитывать при назначении срока первичного обследования элементов, работающих в условиях ползучести.

Внедрение на ИТЭЦ-2 комплексной системы обследования металла гибов высокотемпературных паропроводов позволило:

- получить детальную информацию о состоянии металла каждого гiba обследованных паропроводов;
- составить достаточно достоверный прогноз их остаточного ресурса;
- при необходимости произвести выборочную замену элементов вместо полной замены паропроводов;
- повысить надежность эксплуатации энергооборудования.