Об установлении причин повреждений пароперегревателей

Эксперт **Романенко Виктор Павлович**, ОАО «Севкавэлектроремонт» г. Ростов-на-Дону
Эксперт **Кравченко Виктория Владленовна**, ОАО «Севкавэлектроремонт» г.Ростов-на-Дону

Поверхности нагрева, а в данном случае пароперегреватели являются наименее надежными элементами котельного оборудования, что связано с многообразием факторов, влияющих на условия работы металла, когда их сочетание создает такое напряженно-деформированное состояние, которое приводит к разрушениям. Хотя опасности для обслуживающего персонала электростанций эти повреждения не несут, но происходит прекращение работы энергоблока в среднем на двое, трое суток и создаются режимные условия работы, которые способствуют преждевременному износу всего энергоблока.

На котлах БКЗ-420-140 НГМ имели место после непродолжительной эксплуатации неоднократные разрушения труб конвективного пароперегревателя выходной и предвыходной ступеней (15 заключений). Для повышения надежности эксплуатации пароперегревателя необходимо достоверно выяснить причины повреждения.

Рабочие параметры работы труб:

предвыходная ступень- температура пара на входе = 481°С, температура пара на выходе = 522°С, давление 14,0 МПа;

выходная ступень- температура пара на входе = 540°С, температура пара на выходе = 560° С, давление 14,0 МПа.

Проектная марка стали:

- крайние пакеты предвыходной ступени - 12Х1МФ;

- средние и крайние пакеты выходной и средние пакеты предвыходной ступеней - 12Х18Н12Т.

Трубы эксплуатировались на мазуте, далее на газе и на смешанном виде топлива.

Исследованиями установлено, что все повреждения начинаются с наружной поверхности и развиваются как в поперечном, так и в продольном направлении. Наружная поверхность вырезок неравномерно покрыта плотными, трудноотделимыми отложениями темно-коричневого цвета. Под отложениями поверхность труб неровная, шероховатая, наблюдается нарушение сплошности защитной оксидной пленки. С лобовой стороны, по всей длине вырезок выявлено: прерывистая коррозионная дорожка и канавки разной глубины, расположенные на различном расстоянии друг от друга (Рис.1,2). В зоне канавок и коррозионных дорожек имеется деформация металла в виде локального прогиба на всю толщину металла с искажением формы поперечного сечения и поперечные трещины, развившиеся с наружной поверхности (рис.3). На внутренней поверхности всех вырезок наблюдается осыпание окалины в виде чешуек, что свидетельствует о значительных колебаниях температур, внутренний диаметр в районе коррозионных дорожек приобретает форму эллипса. Изменение конфигурации поперечного сечения в зоне дорожек свидетельствует о приложении к металлу механических усилий, которые являются дополнительным фактором,

ускоряющем разрушение.

По данным измерительного контроля, геометрические размеры вырезок указывают на потерю металла с наружной поверхности из-за процессов окалинообразования и высокотемпературной коррозии и не удовлетворяют требованиям ТУ [1] по минусовым отклонениям по наружному диаметру и по толщине стенки.

По данным механических испытаний металл вырезок с лобовой и тыльной сторон упрочнен. Пластические свойства металла вырезок ниже требований ТУ [1] (17,7- 34,8% против требуемого не менее 35%). Деформационная способность оксидной плёнки вырезок низка - $e_{II} < 1,3\%$, что указывает на низкую сопротивляемость труб пароперегревателя коррозионным, хрупким разрушениям.

Максимальное значение твердости металла приходится на лобовую сторону труб в месте образования коррозионной дорожки и составляет 195-228 НВ, что превышает предельно допустимую, согласно требованиям ТУ [1] - не более 190 НВ.

Поперечные обрывы имели место уже после 22 тыс. часов. Повреждения происходили главным образом в средних пакетах и намного реже в крайних пакетах.

Известно, что разрушения в поперечном направлении (рис.4), как правило, являются при появлении защемлений, вызывающие внерасчетные осевые растягивающие напряжения, которые могут возникнуть, например, при сильном перегреве металла отдельных труб. Характерной особенностью всех поперечных разрушений являются грубые, неровные края, следовательно, преобладающую роль в процессе разрушения играет интенсивное протекание коррозионных процессов под отложениями, которые содержат большое количество пятиокиси ванадия, серы и хлоридов. Но, при анализе всех исследований, особенно помогли для установления причин повреждений результаты самых первых исследований. При перегреве металла выше 640ºС и наличии мелких продольных трещин, которые характерны процессу ползучести, произошел не продольный, а поперечный разрыв трубы. Отсюда следует, что изгибные напряжения от защемления вызвали разрушение защитной пленки, и коррозионные процессы в местах разрушения при высокой температуре намного опередило развитие трещин ползучести. Этим можно объяснить случаи поперечных обрывов труб.

Повреждения труб в продольном направлении представляют собой хрупкий разрыв металла с наружной поверхности с вырывом части трубы, произошедший по коррозионной дорожке. Вид таких повреждений на прямых участках труб являются следствием термоциклических нагрузок, но в данном случае при металлографическом анализе обнаружено множество поперечных трещин, развивающихся с наружной поверхности по механизму коррозии под напряжением. Причинами повреждений явилось, вероятно, протекание двух процессов: образование и развитие продольной трещины вследствие термоциклических нагрузок и поперечных трещин от изгибных напряжений, которые оказались меньше тангенциальных, и развитие продольных трещин произошло быстрее, чем поперечных.

Микроструктура металла всех труб однотипна, состоит из зерен аустенита, карбидов и карбонитридов, расположенных по границам и телу зерен и небольшого количества σ-фазы. Наблюдается образование утолщённых и двойных границ (рис.5), что связано с выделением и концентрацией карбидов и вторичных фаз (карбидов титана, хрома и «сигма» фазы- рис.5а), а так же процессами окисления на глубину до 18 зерен. Наличие большой глубины окисления указывает на перенасыщение металла кислородом, которое возможно только при большой концентрации в нём водорода. Так же наблюдается «пилообразная» форма границ зерен, распространяющаяся от наружной поверхности вглубь металла (рис.6). По мере приближения к внутренней поверхности

деформация границ зерен уменьшается. Наличие таких границ, свидетельствует о механических воздействий, которые в теплоэнергетике не встречается. На наружной поверхности, в районе коррозионной дорожки выявлен процесс межзеренного растрескивания на глубину до 11-и зерен рис.7).

Продольные магистральные трещины, развиваются от дна канавок по границам зерен, на пути выявлены участки с внутренним окислением, от которых идут тонкие трещины. Характер развития трещин указывает о протекании коррозии под напряжением.

Поперечные трещины развиваются от наружной поверхности по коррозионно-усталостному механизму (рис.8). Наблюдается пластическая деформация внутри зерен в продольном и поперечном направлениях.

Разнозернистость структуры металла исследованных труб соответствует 2-9 номеру, что не удовлетворяет требованию ТУ [1] - в пределах 3-7 номера (Рис.9).

На внутренней поверхности всех вырезок окалина рыхлая с отслоениями, что снижает её защитные свойства. В местах отслоения имеются коррозионные повреждения в виде язв и изъеденности поверхности. Рыхлое строение оксидной пленки нетипично для труб из стали марки 12Х18Н12Т и указывает на то, что в пароводяном тракте имеются коррозионно-активные вещества.

Эквивалентная температура эксплуатации металла на наружной поверхности исследуемых труб производилось в зависимости от процентного содержания «сигма» фазы и составила 640-645ºС при максимально допустимом значении 610ºС.

Эквивалентная температура металла труб на наружной поверхности (с использованием знания эквивалентной температуры на внутренней поверхности) составила 640-650ºС ,что превышает допустимую температуру наружной поверхности обогреваемых труб из стали марки 12Х18Н12Т - 610°С в продуктах сгорания сернистых и высокосернистых мазутов и выше предельно допустимой 640 °С - в продуктах сгорания природного газа.

На основании проведенных исследований следует, что основная причина поперечных обрывов труб заключается в изгибных напряжениях от защемления, которые могли возникнуть от перегрева отдельных труб или высоких амплитуд температурных колебаний при переходных режимов котла.

В этих условиях происходит разрушение оксидной пленки на наружной поверхности.

На участках с разрушенной оксидной пленкой, в коррозионно - активной среде происходит наводораживание металла, внутреннее межзеренное окисление, ускорение коррозии под напряжением и развитие коррозионно-усталостных трещин.

Образование продольных и поперечных трещин идентичен, но разрушение оксидной пленки в продольном направлении вызвано тангенциальными напряжениями от колебаний температур.



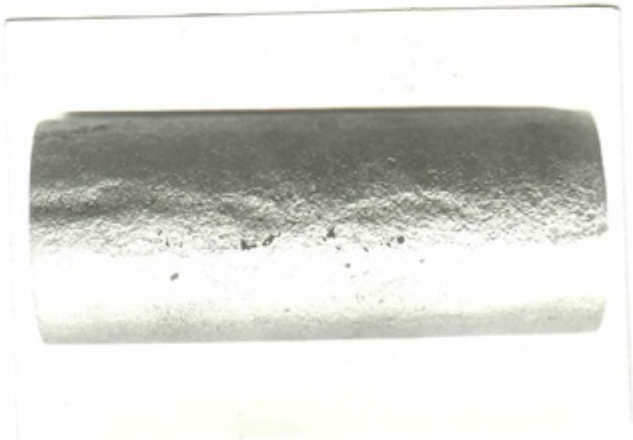


Рис. 1



Рис.2

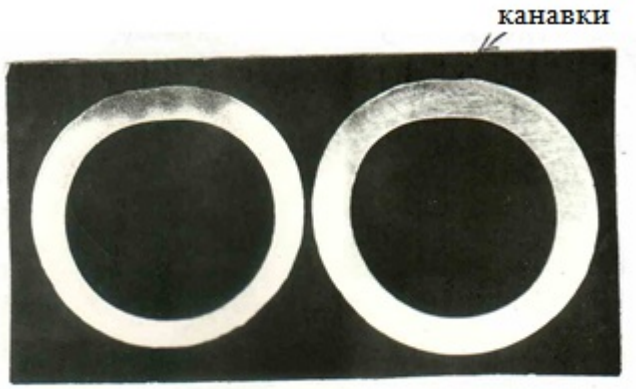


Рис. 3

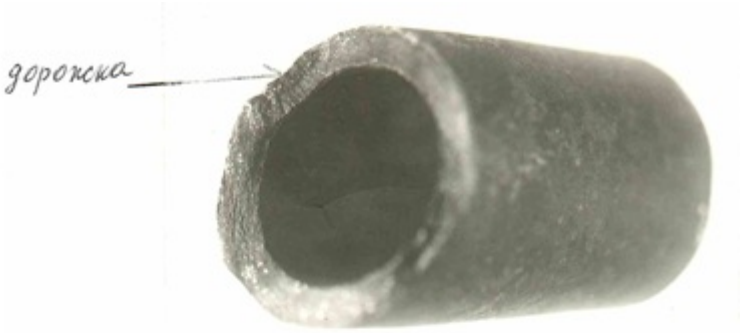




Рис. 4

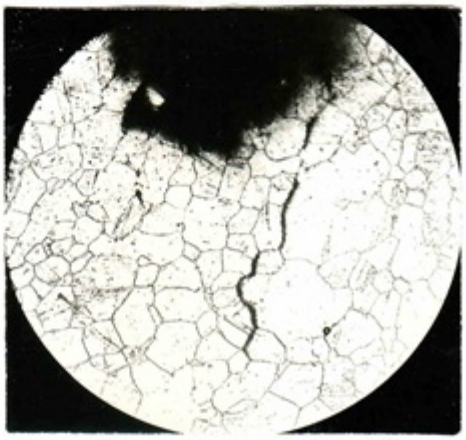


Рис. 5 x100



×500

Рис. 5а

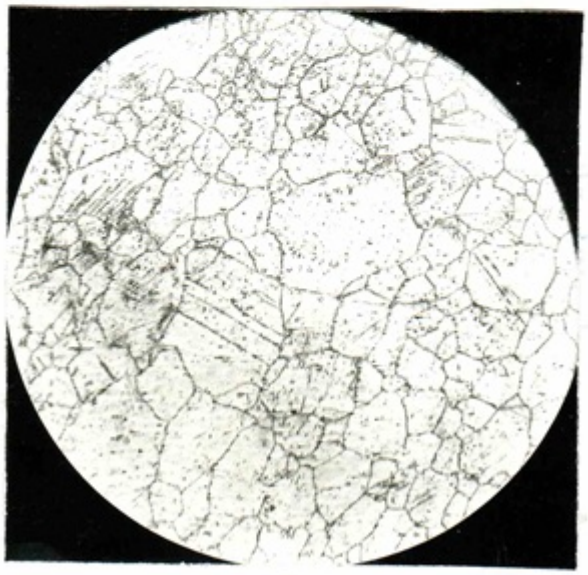


Рис. 6 ×100

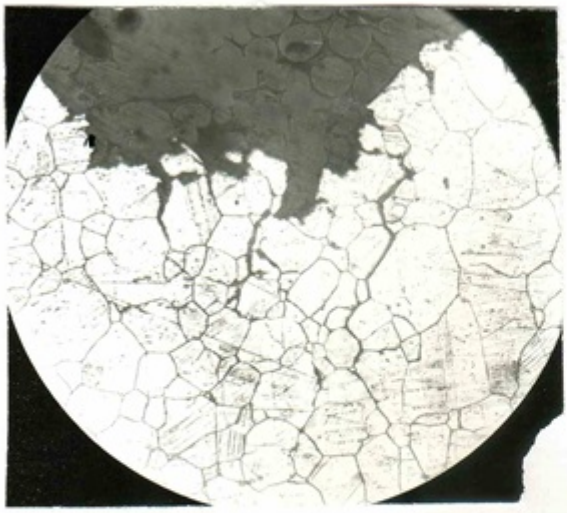




Рис. 7

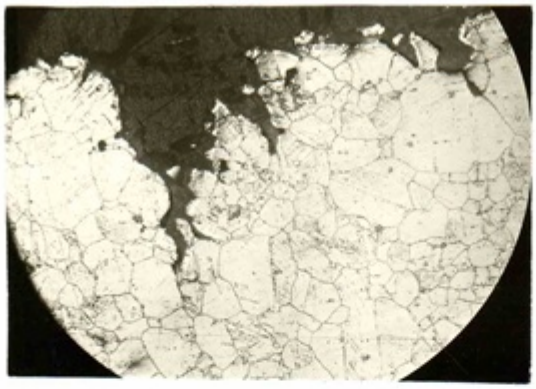


Рис. 8

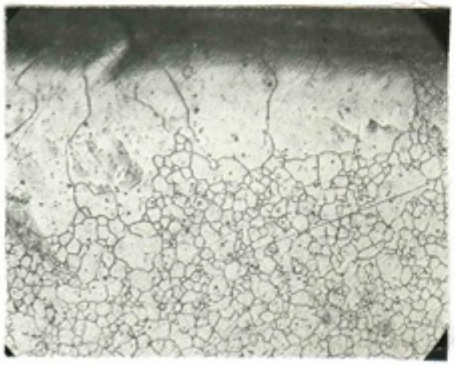




Рис. 9

Используемая литература:

1. ТУ14-3Р-55-2001 «Трубы стальные бесшовные для паровых котлов и трубопроводов»