

## ВЛИЯНИЕ КОРРОЗИОННЫХ ВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ СРЕД НА СВОЙСТВА ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ С ТЕЧЕНИЕМ ВРЕМЕНИ

Д-р техн. наук, проф. *Кунина П. С.*,  
д-р техн. наук, проф. *Басиев К. Д.*, асп. *Алборов А. Д.*  
Кафедра сопротивления материалов и строительной механики .  
Северо-Кавказский горно-металлургический институт  
(государственный технологический университет)

*Анализ причин аварии на газопроводах свидетельствует о влиянии коррозионного фактора. Особую опасность представляет разрушение конструкций по причине коррозионного растрескивания под напряжением на газопроводах диаметром 1220, 1420 мм.*

Процесс зарождения и развития стресс-коррозионных трещин происходит с нарушением изоляционного покрытия, когда коррозионная среда входит в контакт с поверхностью металла трубы. Под отслоившимся покрытием трубопровода формируется коррозионная среда, которая отличается от почвенной по многим параметрам: рН, температуре, химическому составу и концентрации кислорода. В местах контакта металла трубы с коррозионной средой под изоляцией происходит подкисление среды до слабокислых и кислых рН, что способствует понижению поверхностной энергии и ускоряет разрушение пассивной пленки. Наиболее активными элементами грунтовых электролитов являются галоидный ион хлора  $\text{Cl}$  и адсорбированный водород.

При отсутствии пассивной пленки протекает общая коррозия, а при наличии дефекта в пассивной пленке протекает ускоренная локальная питтинговая или щелевая коррозия. Поверхностно-активные элементы коррозионной среды способствуют зарождению микропластических деформаций в зоне дефекта, характеризующегося высоким уровнем остаточных напряжений и скоплением неметаллических включений. Процесс микропластических деформации поверхностного слоя интенсифицируется под действием водорода. Вопреки распространенному мнению о том, что в водородосодержащих средах происходит процесс охрупчивания, в начальный период при малых концентрациях, водород способствует микропластическим деформациям удлинения.

Исследования [1] подтверждают, что локальные микропластические течения поверхностного слоя происходят при напряжениях, меньших величины микропластического предела текучести. В локальных объемах увеличиваются внутренние напряжения, а дополнительный приток атомарного водорода, способствует протеканию неравномерных пластических деформаций и зарождению стресс-коррозионных трещин.

Участками локализации микропластических деформаций могут быть несовершенства кристаллической решетки, а также металлургическая неоднородность стали.

Оценке склонности к образованию микропластических деформаций подвергались образцы из сталей Э-12 (армко-железо), ст. 20, X46, X70 и сварное соединение стали X70.

Для оценки поверхностных микропластических деформаций использовали стандартные цилиндрические образцы  $\varnothing 6\text{мм}$ , на рабочую часть которых наносили отпечатки алмазной пирамидой прибора ПМТ-3. Количество отпечатков составляет 51, расстояние между отпечатками соответствовало 200 мкм. Растяжение образцов осуществляли на разрывной машине 2054 Р-5. Величина растягивающих усилий составляла  $\sigma_p = 0,96\sigma_T$ ;  $\sigma = \sigma_T$ ;  $\sigma = 1,1\sigma_T$ . После каждого испытания производили замер расстояния между отпечатками и регистрировали величину пластических деформаций удлинения.

На основе математико-статистического метода определяли среднеквадратическое отклонение результатов пластических деформации между отпечатками. Дисперсия и среднеквадратическое отклонение для образцов из стали Э-12 составили соответственно: 0,048 и 0,219; для X70, основной металл: 0,545 и 0,74, сварное соединение: 1,544 и 1,24, околошовная зона: 0,893 и 0,944 и основной металл, вырезанный из тела трубы X70 в окружном направлении – поперек проката: 1,04 и 1,3 (рис. 1).

Сравнивая результаты неравномерного распределения пластических деформаций в поверхностном слое образцов и из основного металла стали X70, следует, что в металле трубы в

окружном направлении наблюдается анизотропия деформационных характеристик. Возможно, это связано с аномальными концентрациями неметаллических включений и может быть источником зарождения стресс-коррозионных трещин, ориентированных нормально к действию максимальных растягивающих напряжений.

Из полученных результатов также следует, что максимальная величина микропластических деформаций в локальных зонах происходит в поверхностном слое сварного шва и околошовной зоне и согласуется с тем, что большинство стресс-коррозионных разрушений газопроводов из стали X70 происходит в сварном шве и околошовной зоне.

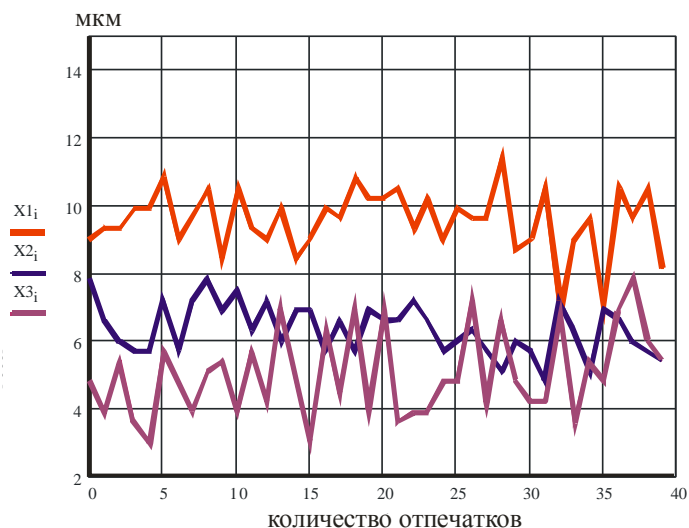


Рис. 1. Микропластические деформации в поверхностном слое стали X70 (Дисперсия:  $X_1=0,916$  – околошовная зона,  $X_2=0,561$  – основной металл,  $X_3=1,544$  – сварной шов).

Коррозионные среды способствуют увеличению неравномерности поверхностных деформаций металла с течением времени в результате процессов низкотемпературной ползучести.

Наиболее распространенной гипотезой водородного охрупчивания в коррозионных средах является гипотеза, основанная на предположении об ослаблении водородом межатомных связей в металле [2] и способствующая разупрочнению поверхностного слоя и образованию микротрещин при накоплении критической концентрации водорода в локальном объеме.

В качестве наводороживающей коррозионной среды в лабораторных условиях использовали 3 %-ный раствор  $\text{NaCl} + 0,5\% \text{CH}_3\text{COOH} + \text{CO}_2 + \text{HCl}$ . Исследованию подвергались стандартные цилиндрические образцы сплошного трубчатого сечения и полукольцевые образцы. Испытания проводились в коррозионной среде в течение длительного времени при напряжении  $0,8\sigma_T$  и  $0,9\sigma_T$ .

В процессе взаимодействия коррозионной среды с образцами наблюдается ползучесть их во времени (рис.2, 3).

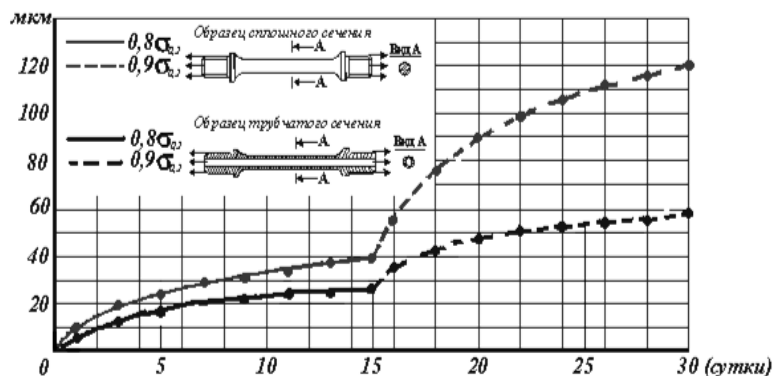


Рис. 2. Ползучесть стали 0,9Г2С в 3 % растворе NaCl+0,5 % CH<sub>3</sub>COOH+CO<sub>2</sub>+HCl.

Ползучесть образцов в наводороживающих средах связана с возникновением в неравновесных условиях отдельных микрообъемов с высокой локальной концентрацией водорода. Разрядка концентрированных напряжений в этом случае может осуществляться за счет возникновения легкоподвижных дислокаций, дрейф которых в поле напряжений растяжений является причиной деформации ползучести [3]. Величина ползучести зависит от структуры металла, концентрации примесей внедрения и замещения, сегрегации атомов углерода к границам зерен.

Таким образом, водород в результате хемосорбции на поверхностях дефектов кристаллической решетки способствует облегчению пластического течения и изменению механических свойств металла для структурно-стабильных сталей.

Ползучесть трубчатых образцов в наводороживающих средах наряду с протеканием микропластических деформаций сопровождается непрерывным накоплением повреждений и снижением пластичности.

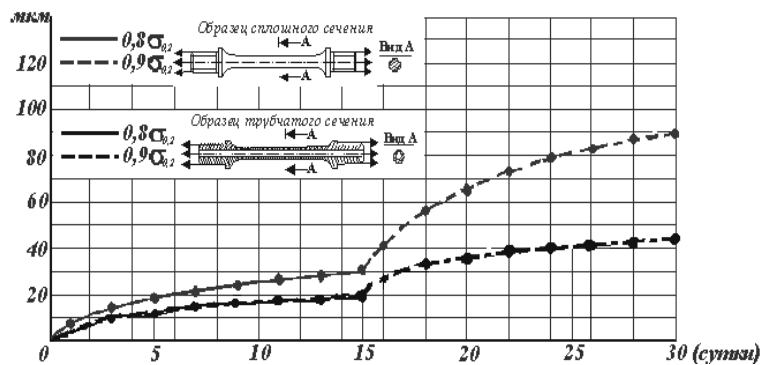


Рис. 3. Ползучесть стали X70 в 3 %-ном растворе NaCl+0,5 % CH<sub>3</sub>COOH+CO<sub>2</sub>+ HCl.

В образцах сплошного сечения уровень ползучести для сталей X46 и 09Г2С превосходит величину пластических деформации трубчатых образцов в связи с тем, что наблюдается различие физико-химических свойств поверхностного слоя и внутренних слоев. Внутренние слои образца способствуют созданию дополнительных растягивающих напряжений в поверхностном слое. Одновременное действие на поверхностный слой коррозионной среды и растягивающих напряжений способствует удлинению и образованию коррозионных трещин.

На рис.4 показаны стресс-коррозионные трещины на стали 09Г2С. Зарождение изолированных микротрещин происходит преимущественно в местах выхода на внешнюю поверхность трубы неметаллических включений, а также в местах поверхностных дефектов.

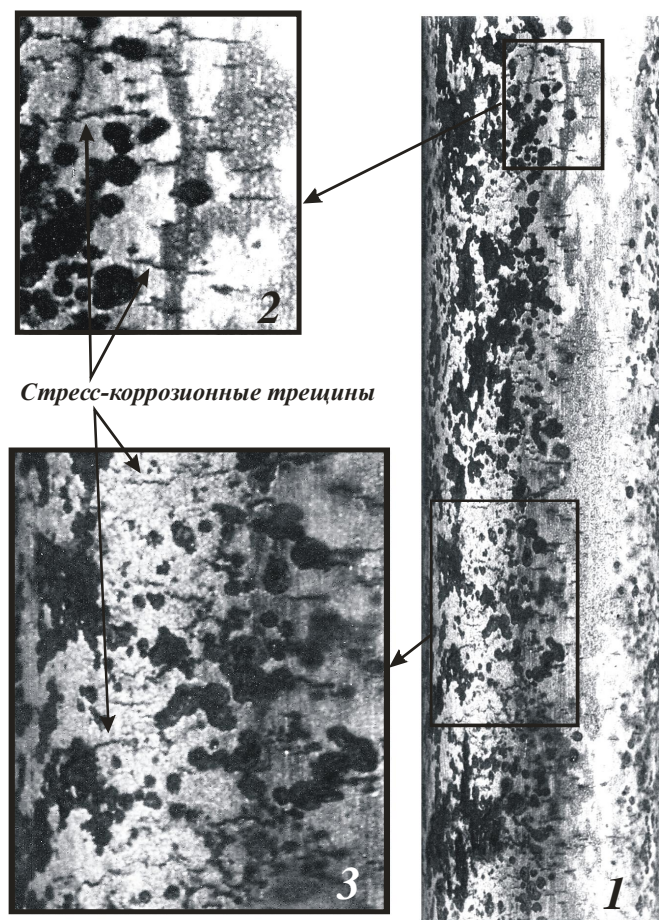


Рис.4. Стресс-коррозионные трещины на стали 09Г2С.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Сергеев Т.К.* Механизм стресс-коррозионного растрескивания труб на МГ России. М., 1998.
2. *Орлов В.А., Гликман Л.А.* К вопросу о механизме водородной хрупкости стали// ФХХ. 1965. № 3.
3. *Бокштейн Б.С., Конецкий Ч.В.* Термодинамика и кинетика границ зерен в металлах. М.: Металлургия, 1986.