

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАРОЖДЕНИЯ И РАЗВИТИЯ КОРРОЗИОННО-МЕХАНИЧЕСКИХ ТРЕЩИН НА ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ

К.Д. Басиев¹, А.А. Бигулаев², Г.И. Хабалов³, Т.М. Дзучев⁴, Э.В. Дзарукаев⁵

Абстракт. Приповерхностный слой металла труб магистральных газопроводов определяет его коррозионно-механическое поведение: имея особое напряженно-деформированное состояние, он содержит наибольшее число разного рода дефектов кристаллической структуры. Известно также, что под действием водорода снижается технологическая прочность элементов конструкций и машин. Основную роль в механизме коррозионного растрескивания играет водородное охрупчивание стали, следствием которого является значительное снижение пластичности и замедленное разрушение стали.

Ключевые слова: трещиностойкость, сварные соединения, стресскоррозия, магистральные газопроводы, адсорбция, коррозионное растрескивание под напряжением.

Процесс коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) трубных сталей протекает как на внешней поверхности подземных магистральных трубопроводов, защищенной изоляционным покрытием, так и на внутренней, не имеющей изоляции.

Коррозионно-механические трещины зарождаются на поверхности труб при локализации анодного процесса и растягивающих напряжений на отдельных ее участках: неоднородностях структуры металла, дефектах защитной пленки, поверхностных дефектах (царапины, риски от механической обработки). Одной из теорий, объясняющей суть КРН, является теория коррозионной усталости. Помимо усталостного механизма КРН существует другая гипотеза влияния напряженно-деформированного состояния (НДС) на процессы КРН.

Считается, что увеличенные значения напряжений на локальных участках трубы приводят к изменениям в структуре наружного поверхностного слоя металла труб, уменьшению пластических свойств и трещиностойкости материала за счет деформационного старения.

По признаку воздействия грунтовой среды механизм КРН может быть сведен к двум его разновидностям:

– «классическое», или карбонатное, КРН характеризуется щелочной реакцией среды (высокий pH);

– «неклассическое» КРН характеризуется слабодиссоциацией и нейтральной реакцией среды (относительно низкий pH).

Считается, что для России наиболее близок «неклассический» тип КРН.

Известные отличия между двумя типами КРН в трубопроводах свидетельствуют, что в разных формах КРН реализуются различные механизмы растрескивания. Очевидно, что это является

результатом вариаций параметров коррозионно-активной среды, которые формируются грунтовыми водами. Следует подчеркнуть, что характерной особенностью КРН является то, что трубные стали подвержены ему только при наличии в среде специфических ионов. Однако количественных критериев ранжирования грунтов не разработано. В настоящее время наиболее обосновано предположение, что зарождение коррозионной трещины на малоуглеродистых сталях под влиянием нейтральных электролитов вызывается непрерывным электрохимическим растворением металла по границам зерен, причем растягивающие напряжения на этом этапе могут только ускорять зарождение трещины. Растягивающие напряжения, не изменяя механизма межкристаллитной коррозии, облегчают протекание коррозионного процесса. Роль напряжений в основном сводится к раскрытию зародышевых микротрещин, разрушению твердых пленок продуктов коррозии и тем самым – к облегчению доступа свежего электролита к вершине трещины.

Некоторые исследователи считают, что в нейтральных средах, например в 3 %-ном растворе NaCl, растрескивание стали в значительной степени облегчается охрупчиванием металла в результате наводороживания. Установлено, что распространение трещин при коррозионном растрескивании в 3 %-ном растворе NaCl проходит по границам аустенитных зерен. Наводороживание стали в нейтральном электролите может произойти вследствие его подкисления. В поверхностных коррозионных изъязвлениях скапливается коррозионная среда, которая, благодаря автокаталитическому процессу, становится кислой, вследствие чего в этих зонах может происходить выделение водорода и его поглощение металлом. Поэтому зарождение трещины в стали при ее испытании в 3 %-ном растворе NaCl происходит после ис-

¹Басиев Казбек Данилович – д. т. н., проф., советник ректора по науке Северо-Кавказского горно-металлургического института (Государственного технологического университета) (basiev_kd@mail.ru).

²Бигулаев Александр Александрович – к. т. н., доцент СКГМИ (ГТУ) (a_bigulaev@mail.ru).

³Хабалов Григорий Игоревич – аспирант СКГМИ (ГТУ) (Khabalov@globalalania.ru)

⁴Дзучев Тамерлан Маирбекович – аспирант (dzuczev@yandex.ru).

⁵Дзарукаев Эльбрус Валерьевич – аспирант СКГМИ (ГТУ) (D_elbrus1989@gmail.ru).

течения времени, достаточного для возникновения на поверхности ямок, и подкисления в них электролита. Можно предположить, что коррозионное растрескивание стали в растворах хлоридов может облегчаться в результате водородного охрупчивания металла.

Известно, что анодное растворение металла протекает через стадии образования поверхности промежуточных соединений, в состав которых входят не только молекулы воды, но ионы и молекулы веществ, входящих в состав грунтового электролита. Первой стадией электрохимического процесса является адсорбция. Изучение механизма анодного растворения сталей в грунтовом электролите, содержащем вещества, которые способствуют коррозионному растрескиванию под напряжением металла труб магистральных газопроводов, очень важно.

Ускорение электрохимического растворения стали в водных суспензиях грунтов можно объяснить тем, что компоненты грунта в результате конкурирующей адсорбции вытесняют молекулы воды с поверхности стали. Переход атомов железа из кристаллической решетки в раствор происходит через образование промежуточного каталитического комплекса и приводит к уменьшению энергии активации процесса растворения и изменению его механизма.

Способность среды вызывать увеличение скорости электрохимического растворения и коррозионного растрескивания определяется поверхностной концентрацией активирующего комплекса, которая зависит не только от его концентрации в объеме раствора, но и от адсорбционного равновесия всех компонентов раствора. Знание основных условий возникновения КРН и состава лабораторного электролита необходимо для создания действенной методики определения склонности разных марок трубных сталей к стресс-коррозионному разрушению.

Однако установлено, что разрушение стали в нейтральных электролитах (при отсутствии поляризации от внешнего источника тока) происходит в результате анодных процессов. На *рис. 1* наблюдается зона поврежденных неметаллических включений, идентифицированных нами как сульфиды марганца. На фоне мелких точечных пор наблюдаются выделения вытянутой формы строчечных сульфидов. Поврежденная зона характеризуется выходом на поверхность сульфидов марганца, следствием чего является интенсивное их растворение.

Снижение сопротивления развитию трещин в сталях и сварных соединениях при воздействии агрессивных сред возможно вследствие раздельного или совместного влияния следующих основных процессов: водородного охрупчивания материала в вершине трещины, адсорбционного

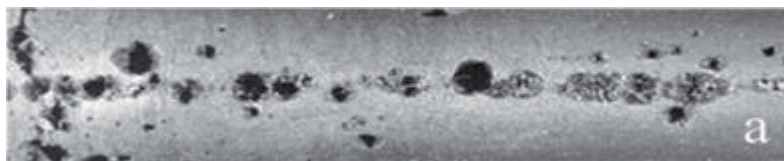


Рис. 1. Характер коррозионного поражения образца из стали X70 (2) с катодной поляризацией в 3 %-ном растворе NaCl + 0,5 % CH₃COOH + CO₂ + HCl

воздействия поверхностно-активных сред и локального анодного растворения.

Адсорбция поверхностно-активных веществ на поверхности напряженного материала в вершине трещины может приводить к понижению поверхностной энергии и облегчению разрушения (эффект Ребиндера).

Особенностью адсорбционного понижения прочности является быстрое действие, что отличает его от других возможных механизмов влияния активных сред. Поэтому принято считать, что испытания на кратковременную трещиностойкость должны выявлять именно адсорбционное воздействие сред. Значительное место отводится адсорбционному механизму влияния жидких сред, прежде всего для случая коррозионного растрескивания под напряжением. Этот механизм считается преобладающим при высоких скоростях роста трещины, когда затруднена реализация других механизмов. Повышение напряжений в вершине трещины и увеличение вследствие этого плотности подвижных дефектов на поверхности способствует усилению адсорбции и ускорению субкритического роста трещины (СРТ).

Существующие модели понижения трещиностойкости конструкционных сплавов под воздействием водорода, поступающего из рабочих сред, основываются на многочисленных известных гипотезах влияния водорода на механические свойства сплавов. Согласно гипотезе молекулярного давления водорода, причиной водородного охрупчивания является возникновение в несплошностях металла высокого давления водорода и соответственно высоких внутренних напряжений, соизмеримых по величине с напряжением от внешней нагрузки. В связи с этим разрушение происходит при пониженных внешних нагрузках.

Другая гипотеза предполагает снижение поверхностной энергии вследствие адсорбции водорода на внутренних поверхностях несплошностей.

Одна из разновидностей рассматриваемой гипотезы предполагает, что действие хемосорбированного водорода в микромасштабе приводит не к охрупчиванию, а к пластификации локальных объемов материала в вершине трещины.

Наиболее распространенной гипотезой водородного охрупчивания, применительно к СРТ в агрессивных средах, является гипотеза, основанная на предположении об ослаблении водородом, растворенным в кристаллической решетке межа-

томных связей в металле. Согласно Ориани, разупрочнение происходит в приповерхностном слое материала кончика трещины, а разрушение на атомарном уровне протекает постепенно от атома к атому. По мнению Трояно, вследствие градиента напряжений в вершине трещины водород диффундирует в область с объемным напряженным состоянием перед фронтом растущей трещины и вызывает там понижение когезионной прочности. При накоплении критической концентрации водорода образуются отдельные микротрещины, которые впоследствии соединяются с магистральной.

Развитие трещин в коррозионной среде по анодному механизму происходит из-за локального электрохимического растворения металла в вершине трещины. При этом интенсивность растворения в вершине трещины должна быть намного больше, чем на ее берегах и гладкой поверхности. Избирательное растворение обуславливается структурной гетерогенностью сталей и сварных соединений и наличием механических напряжений. Согласно Н.Д. Томашову, развитие трещины является результатом работы гальванического элемента, в котором анодом служит вершина трещины, а катодом – берега развивающейся трещины. Высокая скорость роста коррозионной трещины обуславливается высокой плотностью коррозионного тока на анодном участке, что связано со значительно большей площадью катода по сравнению с площадью анода. Роль приложения механических напряжений сводится к предотвращению образования пассивирующей пленки в вершине трещины либо к ее разрушению.

Исследования характера зарождения и распространения микротрещин на микроскопическом уровне велись на образцах, вырезанных из трубы диаметром 1 420 x 18,7 мм из стали X70. Микротрещины длиной от 0,5 до 2,5 мм и раскрытием 5–7 мкм, направленные перпендикулярно действию растягивающих напряжений, распространяются от поры к поре. Тонкие, извилистые микротрещины соседствуют с другими, более широкими и глубокими. Внешние признаки таких микротрещин позволяют сделать предположение, что коррозионные процессы начинают развиваться на локальных, перенапряженных участках как на источниках электрохимической неоднородности (рис. 2).

Активность этих участков обусловлена сегрегацией химически активных элементов (углерод, азот, сера, фосфор), образованию которых содействуют дислокации.

В работе [1] отмечено, что напряженное состояние способствует коррозионному процессу в металлах вследствие:

– сообщения металлу добавочной энергии, что вызывает понижение его термодинамической устойчивости, так как иону Me^+ деформированного металла легче покинуть решетку по сравнению с ионами недеформированного металла ввиду более низкой работы выхода;

– нарушения под действием деформации сплошности и ухудшения защитных свойств поверхностных пленок;

– повышения степени неоднородности, связанной с появлением под действием деформации дефектов кристаллической решетки и новых анодных фаз.

Гетерогенность структуры является причиной возникновения гальванических пар в коррозионной среде и зависит не только от исходной структуры металла, но и от процессов, которые приводят к структурным изменениям с течением времени вследствие термодинамических процессов старения и действия водорода на металл в коррозионных средах.

Процесс деформационного старения стали обычно описывается как переход примесных атомов С и N из нормальных позиций внедрения в феррите к дислокациям. При взаимодействии водорода с деформируемым металлом в определенных специфических условиях процесс деформационного старения резко интенсифицируется, вследствие чего когезионная прочность межзеренных границ падает.

При взаимодействии наводороживающих сред с металлом водород в кристаллической решетке распределяется неравномерно [2], локализуется на дислокациях, границах зерен, микровключениях, структурных неоднородностях.

Высокая термодинамическая активность водорода в результате диффузии приводит в упругой области к развитию процессов микропластических деформаций. В этих условиях изменяется дефектная структура металла, происходит смещение атомов из положения равновесия, действие водорода на кристаллическую решетку металла приводит к локальному возбуждению и последующей релаксации напряжений [3].

В начальной фазе инкубационного периода для большинства механизмов коррозионного растрескивания решающая роль отводится процессу электрохимической коррозии, активированному напряжениями.

Автор работы [4] считает, что атомы металла, находящиеся в кристаллических ступенях, образованных вышедшими на поверхность дислокациями, с одной стороны, менее прочно связаны с решеткой, а с другой – более тесно окружены молекулами растворителя и находятся в полусольватированном состоянии. Свободная энергия активации растворения таких атомов гораздо ниже, чем атомов, входящих в состав плотноупакованной грани. Вследствие локального анодного растворения активных участков образуются микроязвочки. Металл на дне микроязвочки более отрицателен по сравнению с окружающим, поэтому происходит преимущественное растворение, что способствует углублению микроязвочки и появлению концентрации напряжений. Концентрация напряжений, в свою очередь, сдвигает потенциал металла на дне микроязвочки в более

отрицательную сторону, тем самым способствуя ускорению анодного растворения и увеличению концентрации напряжений до определенных критических значений, когда микроязвочка превращается в микротрещину.

Поле напряжений вблизи коррозионных питтингов описывается в виде двумерного напряженно-деформированного состояния следующими дифференциальными уравнениями плоской теории упругости [5]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + X &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + Y &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \lambda \theta + 2 \mu \frac{\partial U}{\partial x} \\ \sigma_y &= \lambda \theta + 2 \mu \frac{\partial V}{\partial y} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ – компоненты напряжений, $U(x,y), V(x,y)$ – компоненты смещения.

В результате преобразований система (1, 2) приводится к следующей системе уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= n - \frac{\rho^2}{r^2} n - \delta \left(1 - 4 \frac{\rho^2}{r^2} + 3 \frac{\rho^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \\ \sigma_\theta &= n + \frac{\rho^2}{r^2} n + \delta \left(1 + 3 \frac{\rho^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \\ \tau_{r\theta} &= \delta \left(1 - 3 \frac{\rho^4}{r^4} + 2 \frac{\rho^2}{r^2} \right) \sin 2\theta \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

$$\text{где } n = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}, \quad \delta = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}. \quad (4)$$

На рис. 3 показаны действующие силовые факторы и размеры коррозионного повреждения.

Рассмотрим решение уравнения (3) для случая, когда пластина с коррозионным повреждением подвергается одноосному напряженному состоянию при $\sigma_2 = 0$, тогда

$$n = \frac{\sigma_1}{2}, \quad \delta = \frac{\sigma_1}{2};$$

получим следующую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \frac{\sigma_1}{2} \left[1 - \frac{\rho^2}{r^2} - \left(1 - 4 \frac{\rho^2}{r^2} + 3 \frac{\rho^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \right] \\ \sigma_\theta &= \frac{\sigma_1}{2} \left[1 - \frac{\rho^2}{r^2} + \left(1 + 3 \frac{\rho^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \right] \\ \tau_{r\theta} &= \frac{\sigma_1}{2} \left[1 + 2 \frac{\rho^2}{r^2} - 3 \frac{\rho^4}{r^4} \right] \sin 2\theta \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

Наибольшее растягивающее действие в точках $X = \pm r$ и соответствует $\sigma_\theta = 3\sigma_1$; при $y = \pm r$ напряжения $\sigma_\theta = \sigma_1$ и действуют по направлению действующего напряжения.

Из системы уравнения (5) максимальные напряжения в точках $x = \pm r$ можно получить при раз-



Рис. 2. Характер зарождения и развития коррозионного растрескивания стали X70.

личных схемах нагружения пластины с коррозионным повреждением:

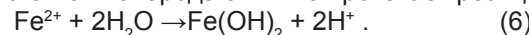
$$\text{при } \sigma_1 = \sigma_2, \quad \sigma_\theta = 2\sigma_1; \quad \sigma_1 = 2\sigma_2 = 2,5P;$$

$$\sigma_2 = 0, \quad \sigma_\theta = 3\sigma_1; \quad \sigma_1 = -\sigma_2, \quad \sigma_\theta = 4\sigma_1.$$

Следует отметить, что с увеличением радиуса вектора r напряжения σ_2 и σ_θ приближаются к значению σ_1 , при $r = 10\rho, \sigma_r = 0,99 \sigma_1, \sigma_\theta = 1,01 \sigma_1$.

Если зародившийся дефект имеет вид несквозного отверстия, при $x = \rho = r$ величина максимальных напряжений соответствует $\sigma_\theta = 2,5\sigma_1$. Для коррозионного повреждения поверхности трубы в виде глубокого питтинга радиусом, равным $\rho = 0,5\text{ мм}$, распределение поля напряжений на расстоянии $r = 0,75 \text{ мм}$ соответствует $\sigma_\theta = 1,35 \sigma_1$ (рис. 4, а); для $r = 1 \text{ мм}$ соответственно $\sigma_\theta = 1,23 \sigma_1$ (рис. 4, б); для $r = 1,5 \text{ мм}$ соответственно $\sigma_\theta = 1,08 \sigma_1$ (рис. 4, в).

По мере коррозионного углубления дефекта в ее вершине начинает реализовываться «щелевой» эффект, т. е. происходит гидролиз продуктов коррозии, подкисление среды и, как следствие, наводороживание металла. В дефекте из-за недостатка кислорода активно протекает реакция



Ускорение реакции ионизации металла обусловлено тем, что при снижении концентрации кислорода в щелях и подобных ей дефектах

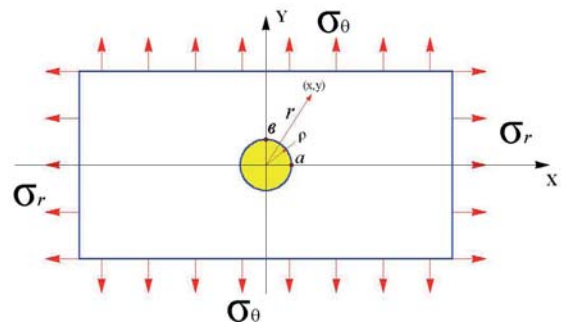


Рис. 3. Действующие силовые факторы в пластине с центральным отверстием в виде коррозионного углубления

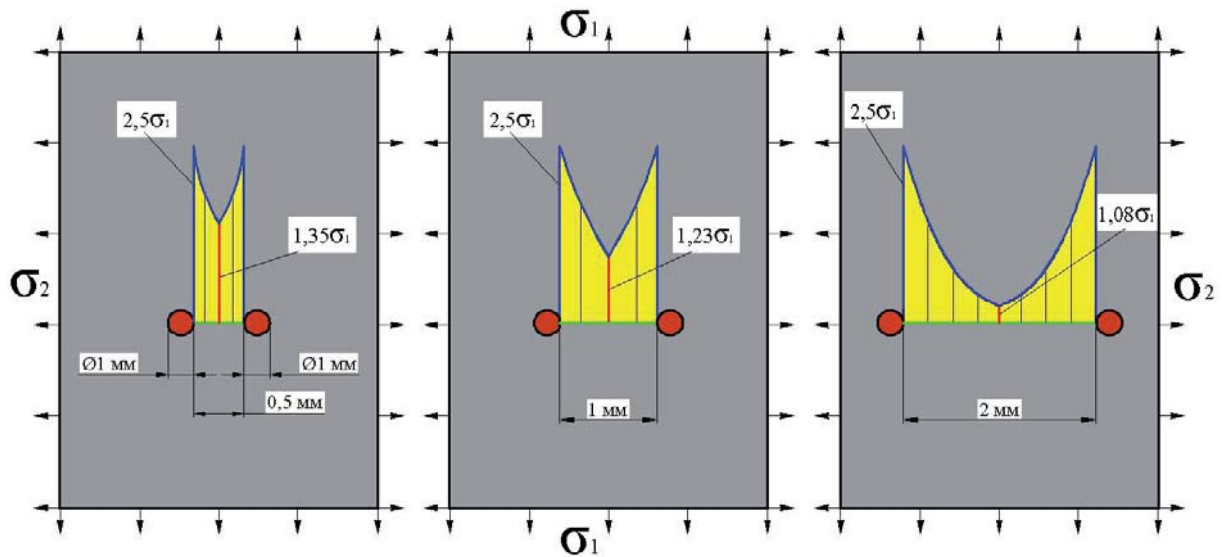
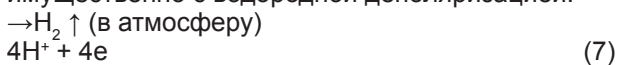


Рис. 4. Распределение поля напряжений вблизи несквозного отверстия радиусом $\rho = 0,5$ мм: а) $r = 0,75$ мм; б) $r = 1$ мм; в) $r = 1,5$ мм

происходит более интенсивное анодное растворение. Ионы железа образуются при растворении гальванопары в вершине трещины.

Увеличение концентрации ионов водорода приводит к подкислению нейтральной исходной среды, в результате чего катодный процесс реализуется на берегах трещины, где протекает преимущественно с водородной деполяризацией:



$\rightarrow 2\text{H}$ (абсорбируется металлом).

Доля катодного процесса с кислородной деполяризацией, по-видимому, невелика, поскольку поступление кислорода с поверхности в вершину трещины затруднено. Ионы водорода адсорбируются на поверхности металла, восстанавливаются, получая электроны, до атомарного и покидают поверхность, являющуюся в данном случае катализатором реакции восстановления водорода. Десорбция атомов водорода с поверхности металла протекает по механизму параллельных реакций: часть атомов абсорбируется (поглощается) объемом металла, распространяясь по нему, часть, образуя молекулы, удаляется в виде пузырьков с поверхности металла. Водород, попадая в металл, диффундирует по его объему в зону максимальных трехосных напряжений, которая находится перед вершиной трещины. Поступивший в эту зону водород ускоряет процесс коррозионного подрастания трещины, так как наводороживание металла существенно снижает его коррозионную стойкость [6].

Трещины КРН развиваются от поверхностной локальной коррозии в коррозионно-активных средах при необходимом уровне приложенных напря-

жений. Уровень коэффициента интенсивности напряжений в вершине развивающейся трещины, при достижении порогового значения K_{Isc} , способствует началу коррозионно-механического роста трещины. Расположение зародышевых концентраторов напряжений определяет зону поверхностного растрескивания (рис. 5).

Ориентация роста трещины КРН определяется действием максимальных растягивающих напряжений. В магистральных газопроводах под действием внутреннего давления максимальные растягивающие напряжения действуют в окружном направлении σ_{θ} , а развивающиеся трещины – в продольном направлении трубы.

Развитие поверхностных трещин зависит от дополнительных напряжений, возникающих от изгиба трубы вследствие просадки грунта, что приводит к появлению трещин в кольцевом направлении.

Образование концентраторов напряжений вследствие локальной коррозии, зарождение трещин

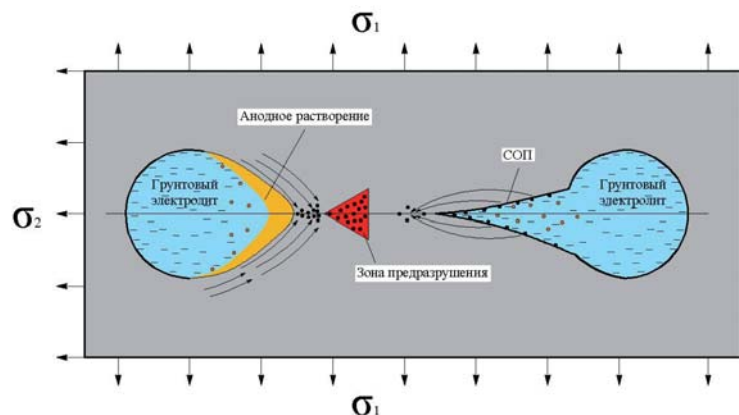


Рис. 5. Стадии объединения двух близлежащих питтингов в коррозионной среде при действии растягивающих напряжений

КРН и объединение близко расположенных трещин в процессе их роста способствует развитию магистральной трещины (рис. 6)

Массоперенос электрохимического водорода обладает высокой термодинамической активностью, приводит в упругой области к развитию процессов микропластической деформации без внешнего силового воздействия. В этих условиях изменяется дефектная структура металла, происходит смещение атомов из положения равновесия и активизируются процессы самодиффузии. По всей вероятности, действие потоков водорода на кристаллическую решетку металла приводит к реализации атомно-вакансионных возбужденных локальных состояний кристалла или гетерофазных флуктуаций, которые релаксируют по механизму микропластической деформации. Одним из следствий микропластической деформации является деформационное старение стали.

Существенным фактором, способствующим повышению стойкости трубных сталей к КРН, является качество листового проката, которое за-

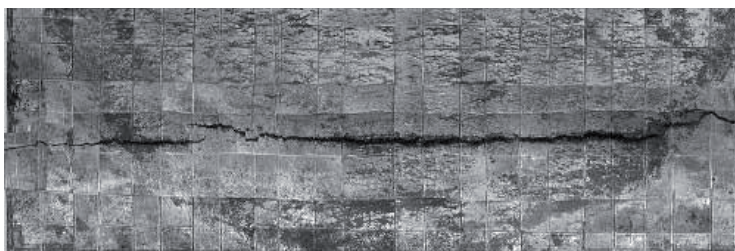


Рис. 6. Магистральная трещина в стали X70

висит от содержания в нем вредных примесей, их распределения из состава неметаллических включений.

Вывод. Исследование и анализ полученных экспериментальных данных свидетельствуют о том, что необходимым условием образования сетки трещин на поверхности исследуемого материала является наличие в материале концентраций напряжений, достаточных, чтобы близлежащие микроязвы могли объединяться, перерастая в микротрещину.

Следует отметить, что развитие микротрещин зависит от запаса упругой энергии металла. Чем больше значение этого фактора, тем легче происходит развитие коррозионного растрескивания.

Результаты работы получены при поддержке проекта №2313 «Развитие методов оценки склонности металла труб магистральных газопроводов стресс-коррозионной повреждаемости и разработка мероприятий по снижению риска техногенных аварий», выполняемого в рамках государственного задания №2014/207

ЛИТЕРАТУРА

1. Томашев Н.Д. Теория коррозии и защита от коррозии. – М.: Изд-во АН СССР, 1959.
2. Панасюк В.В., Андрейкиев А.Е., Харин В.С. Теоретический анализ роста трещин в металлах под воздействием водорода // ФХММ, 1981. № 1. С. 61–75.
3. Бокштейн Б.С., Колецкий Ч.В. Термодинамика и кинетика границ зерен в металлах. – М.: Металлургия, 1986.
4. Хоар Т.П. Анодное поведение металлов / В кн. Новые проблемы современной электрохимии. Перев. с англ. – М.: ИЛ, 1962. С. 284–376.
5. Панасюк В.В., Саерук М.П., Дацышин А.П. Распределение напряжений около трещин в пластинах и оболочках. – Киев: Наукова думка, 1976.
6. Бокштейн М.Л. Прочность сталей. – М.: Металлургия, 1974.

INVESTIGATION OF THE FORMATION AND DEVELOPMENT OF CORROSION-MECHANICAL CRACKS ON THE SURFACE OF PIPES

Basiev K.D., Bigulaev A.A., Khabalov G.I., Dzutsev T. M., Dzarukaev E.V.

Basiev Kazbek Danilovich – proff., dr.t.s., Rector's adviser of the science of North Caucasus Institute of Mining and Metallurgy (State Technology University). (basiev_kd@mail.ru)

Bigulaev Alexander Aleksandrovich – Assistant Professor, PhD in Technical Sciences of North Caucasus Institute of Mining and Metallurgy (State Technology University). (a_bigulaev@mail.ru)

Khabalov Grigori Igorevich – postgraduate of North Caucasus Institute of Mining and Metallurgy (State Technology University)(Khabalov@globalalania.ru)

Dzutsev Tamerlan Mairbekovich postgraduate of North Caucasus Institute of Mining and Metallurgy (State Technology University) (dzutsev@yandex.ru).

Dzarukaev Elbrus Valerievich – postgraduate of North Caucasus Institute of Mining and Metallurgy (State Technology University). (D_elbrus1989@gmail.ru)

Abstract. The surface layer of metal gas pipes determines its corrosion-mechanical behavior: with special stress-strain state, it contains the largest number of different kinds of defects in the crystal structure. It is also known that the action of hydrogen decreases technological strength of structural elements and machines. Major role in the mechanism of stress-corrosion cracking plays hydrogen embrittlement of steel, resulting in the significant decrease in ductility and fracture of steel delayed.

Keywords: crack resistance, welds, stress-corrosion, natural gas pipelines, adsorption, stress corrosion cracking.