

К ИНИЦИИРОВАНИЮ ТРЕБУЕМОГО ХАРАКТЕРА ОСТАНОВКИ ВЯЗКОГО ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

TO INITIATION OF DEMANDED CHARACTER OF A STOP OF VISCOUS FORMATION OF CRACKS OF PIPES OF BIG DIAMETER

В.Н. Лозовой, кандидат технических наук
ОАО "Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности")
454139, Челябинск, ул. Новороссийская, 30
rosniti@rosniti.ru

На полигонных испытаниях установлено, что закольцовывание вязкой магистральной трещины может происходить с отклонением трещины как в одну сторону, так и одновременно в две стороны с раздваиванием трещины. Причины того или иного видов закольцовывания связаны величиной и направлениями результирующих растягивающих усилий, связанных с величиной деформаций металла и усилий от раскрытия стенок трубы [1, 2].

Практика показывает, что направление формирующейся трещины всегда перпендикулярно растягивающим стенку усилиям. Формирование трещинообразования в трубе, имеющей кольцевые усилия растяжения $Q_{\text{кольц}}$ от внутреннего давления в трубе, происходит под действием результирующих усилий растяжения $Q_{\text{рез.1}}$ и $Q_{\text{рез.2}}$. Усилия $Q_{\text{рез.1}}$ и $Q_{\text{рез.2}}$ вызваны совместным действием кольцевых усилий $Q_{\text{кольц}}$ и усилий растяжения $Q_{\text{ст.1}}$ и $Q_{\text{ст.2}}$

(обусловлены действием раскрывающихся вследствие «парусности» стенок трубы) [3, 4].

Растягивающие результирующие усилия перед вершиной трещины $Q_{\text{рез.1}}$ и $Q_{\text{рез.2}}$ независимо друг от друга создают тенденцию к отклонению вязкого трещинообразования от прямолинейного направления. При этом одна пара результирующих усилий ($Q_{\text{ст.1}}$) отклоняет вязкое трещинообразование в одну сторону от оси трубы, а другая пара ($Q_{\text{ст.2}}$) отклоняет трещинообразование в другую сторону.

На рис. 1а, б показано действие правой и левой раскрывающихся стенок трубы. На рис. 1, в показано совместное действие правой и левой раскрывающихся стенок трубы с формированием плоскостей деформаций сдвигом по направлениям $H_{\text{зак1}}$ и $H_{\text{зак2}}$.

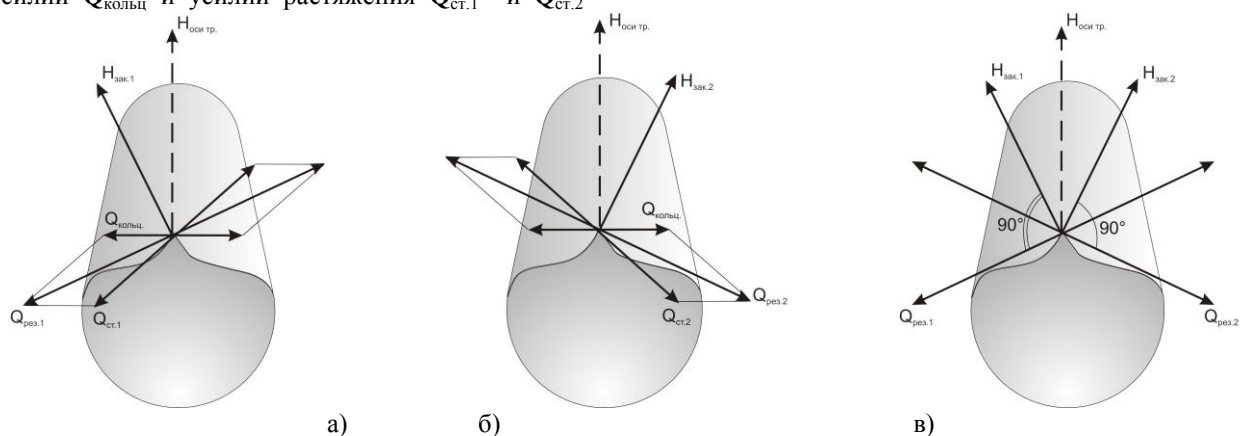


Рис. 1. Формирование результирующих усилий растяжения стенки трубы перед вершиной вязкого трещинообразования и направлений

закольцовывания трещины от действия раскрывающихся стенок трубы (а – правой, б – левой, в – совместное действие стенок)

Видно, что правая и левая раскрывающиеся стенки трубы создают независимо друг от друга направление закольцовывания $H_{\text{зак.1}}$ (от правой открывающейся стенки) и направление закольцовывания $H_{\text{зак.2}}$ (от левой открывающейся стенки). Следовательно, при вязком трещинообразовании результирующие растягивающие напряжения $Q_{\text{рез1}}$ и $Q_{\text{рез2}}$ независимо друг от друга вызывают отклонения трещины от прямолинейного направления не в одну, а в две противоположные стороны.

Нужно отметить, что инициирование как однонаправленного закольцовывания, так и закольцовывания с раздваиванием трещины усиливается, когда влияние $Q_{\text{рез1}}$ и $Q_{\text{рез2}}$ повышается. Это

имеет место при увеличении результирующих усилий $Q_{\text{рез1}}$ и $Q_{\text{рез2}}$ и повышении отклонения направлений усилий от кольцевых $Q_{\text{кольц}}$.

Анализ причин закольцовывания трещины в одну сторону показывает, что оно обусловлено наличием даже незначительных отличий механических и геометрических характеристиках металла по площади стенки трубы, а также отличий в величине и направлении векторов растяжения от действия раскрывающихся стенок трубы, т.е. $Q_{\text{рез1}} \neq Q_{\text{рез2}}$.

При равномерных механических и геометрических характеристиках металла по площади стенки трубы, практически идеальной геометрии трубы, равенстве по величине и направлению векторов ($Q_{\text{рез1}} = Q_{\text{рез2}}$) трещинообразование раздваивается и происходит закольцовывание одновременно в две стороны (рис.2). Такое закольцовывание, как сле-

дует из причин его образования, реализуется при высоком качестве листового проката, обеспечиваемом поставщиками листа, а также при высоком

качестве геометрии и равномерном распределении механических свойств металла по стенке труб, обеспечиваемом изготовителями труб.

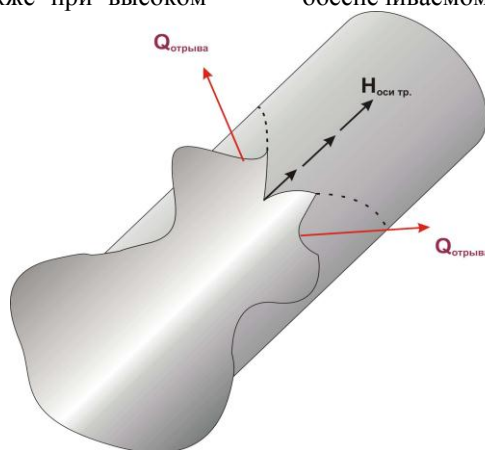


Рис.2. Остановка вязкой трещины раздваиванием и закольцовыванием вязкой трещины в две противоположные стороны

Остановки с раздваиванием и закольцовыванием трещины в две стороны неоднократно наблюдались при проведении полигонных испытаний. Следует отметить, что такие остановки магистральной вязкой трещины участились. Это свидетельствует о повышении равномерности распределения механических и геометрических характеристик основного металла труб по площади стенки труб, улучшении геометрии непосредственно труб, которая зависит от заводов-изготовителей труб. Однако закольцовывание с раздваиванием вязкой трещины, как показали полигонные испытания, создаёт проблемы, связанные с направлением выхода из трубопровода сжатого под высоким давлением газа.

Закольцовывание трещины в одну сторону происходит без полного разрыва стенки трубы на участке по её периметру, близком к половине периметра трубы, как это показано на рис.3. При таком закольцовывании труба прижимается выходящим газом к грунту и не разрушается вблизи закольцовывания.



Рис. 3. Остановка вязкой трещины с закольцовыванием в одну сторону

При двустороннем закольцовывании одна и вторая трещины, проходя по половине периметра трубы, сходятся, что приводит к разделению неразрушенной и разрушенной частям трубопровода. В этом случае даже при остановке на коротком участке трубопровода выходящий из неразрушен-

ной части трубы газ создает реактивное усилие вдоль оси трубы с ее разрушением на значительном участке

Последнее свидетельствует о том, что необходимо предусмотреть мероприятия по инициированию отклонения трещины и закольцовывания только в одну сторону без раздваивания трещинообразования даже при наличии практически равномерных по площади стенок трубы механических и геометрических характеристиках металла стенок, идеально правильных характеристиках геометрии самой трубы.

Такое однонаправленное инициирование отклонения трещины может быть обеспечено, в частности, созданием соответствующей направленности механических характеристик, созданием преимущественных направлений текстуры в листовом прокате не вдоль, а под некоторым углом относительно оси трубы [6,7].

На спиральношовных трубах, единственным производителем которых на территории СНГ является ОАО «ВТЗ», закольцовывание магистральной трещины в одну сторону гарантировано самим способом формовки трубы с отклонением направления прокатки листа от оси трубы в одну сторону.

Изменить направленность текстуры листового проката можно и изменением направления прокатки листа. Известно, что при производстве короткого проката с малой шириной листов используется технология с попеременным изменением продольного направления листа относительно оси прокатки. Но при производстве листового проката для электросварных прямошовных труб большого диаметра значительная ширина листа не позволяет выполнять такое попеременное изменение продольного направления листа относительно направления прокатки.

Создание требуемого отклонения путём направленной термообработки широкого листа также сложно осуществимо на практике.

Требуемое однонаправленное закольцовывание можно реализовать путем изменения возмож-

ностей для раскрытия левой и правой стенок трубы как при практически равномерном распределении механических и геометрических характеристик основного металла труб по площади стенки труб, так и при практически идеальной геометрии труб, обеспечиваемой заводами-изготовителями труб.



Рис. 4. Закольцовывание вязкого трещинообразования

Очевидно, что если впереди вершины трещинообразования слева и справа имеет место неравномерное распределение механических и геометрических характеристик основного металла в стенке труб, имеются некоторые отклонения в геометрии труб,

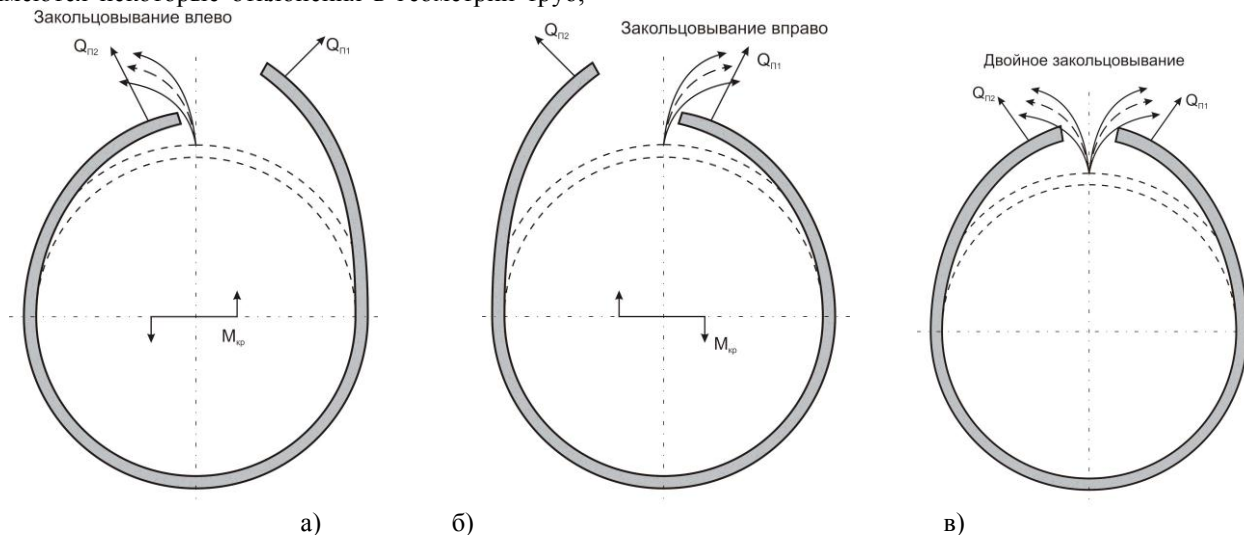


Рис. 5. Формирование вида закольцовывания в зависимости от величины раскрытия стенок трубы (а, б – однонаправленное закольцовывание, в – двустороннее закольцовывание, $M_{кр}$ – крутящий момент вращения трубы от неравного раскрытия стенок)

Интересно, что при неравном создании результирующих $Q_{рез}$ (неравном раскрытии стенок трубы) ещё до закольцовывания тенденция к некоторому повороту трубы вокруг оси от более раскрывающейся стенки приводит при вращении трубы к подавлению, ограничению раскрытия противоположной стенки трубы. Это, в свою очередь, ещё более снижает обеспечиваемые противоположной стенкой результирующие растягивающие усилия и, соответственно, подавляет возможность закольцовывания от действия этой стенки.

обеспечиваемые заводами-изготовителями труб, то действие одной из раскрывающихся стенок трубы приводит к реализации результирующего растягивающего усилия $Q_{рез}$ выше и более отклоненного от кольцевых усилий растяжения $Q_{кольц}$, чем от действия другой раскрывающейся стенки. Это приводит в закольцовыванию в одну сторону, т.е. в ту сторону, которая противоположна стенке, обеспечивающей более высокие $Q_{рез}$.

Очевидно также, что обеспечение таких более высоких значений $Q_{рез}$ обусловлено более высоким раскрытием стенки, которое и создает тенденцию к некоторому повороту трубы вокруг оси от той стенки, которая обеспечивает более высокие $Q_{рез}$ и однонаправленное закольцовывание вязкой трещины.

На рис.5 показано, как неравное раскрытие стенок трубы вследствие парусности (Q_p – усилие парусности) приводит к однонаправленному закольцовыванию с созданием крутящего момента относительно оси трубы и двустороннего закольцовывания с раздваиванием вязкого трещинообразования.

Последнее подсказывает то направление воздействия на вязкое трещинообразование, которое даже при идеально равномерном распределении механических и геометрических характеристик основного металла по площади и толщине стенки труб, практически идеальной геометрии труб, обеспечиваемой заводами-изготовителями труб, обеспечивает остановку трещинообразования закольцовыванием трещины в одну сторону (рис.6.).



Рис. 6. Иницирование требуемого вида закольцовывания (а – несимметричный по оси траншеи монтаж трубопровода, б – несимметричная засыпка трубопровода)

Для однонаправленного закольцовывания необходимо искусственно ограничить раскрытие одной из стенок, в частности, при монтаже трубопровода в траншею несколько сместить его к одной из сторон траншеи, выполнить такую засыпку трубопровода, которая создаст условия для неравномерного раскрытия противоположных стенок трубы в результате «парусности». В этом случае искусственное подавление раскрытия одной стенки обеспечит от действия противоположной стенки трубы результирующие усилия $Q_{рез}$, которые выше по величине и имеют большее отклонение от кольцевых усилий $Q_{кольц}$, что инициирует закольцовывание вязкого трещинообразования в одну сторону.

ВЫВОДЫ:

На основании исследования особенностей закольцовывания вязкого трещинообразования ТБД

1. В случае, когда результирующее усилие растяжения стенки трубы перед вершиной трещины $Q_{рез}$, создаваемое одной из раскрывающихся стенок трубы выше результирующего усилия, создаваемого другой раскрывающейся стенкой ($Q_{рез1} > Q_{рез2}$), реализуется одностороннее закольцовывание вязкого трещинообразования. При этом закольцовывание реализуется в ту сторону, которая противоположна стенке, создающей более высокие и более отклоненные от кольцевых результирующие усилия $Q_{рез}$.

2. При равномерном распределении механических характеристик по площади стенки, практически идеальной геометрии трубы, равных по величине и направлению результирующих усилий растяжения стенки трубы перед вершиной трещины ($Q_{рез1} = Q_{рез2}$) вязкая трещина раздвигается и происходит двустороннее закольцовывание.

3. Одностороннее закольцовывание вязкой трещины имеет преимущество перед двусторонним, поскольку одностороннее закольцовывание сохраняет неразрешенную трещиной часть трубопровода, а при двустороннем закольцовывании, несмотря даже на короткий участок трубы до закольцовывания, реактивное усилие выходящих из трубы сжатых газов может разрушить непредсказуемо длинный участок трубопровода.

4. Одностороннее закольцовывание при неравенстве результирующих растягивающих усилий ($Q_{рез1} > Q_{рез2}$) может быть при неравномерном распределении механических и геометрических характеристик основного металла по площади стенки трубы, некоторых отклонениях в геометрии труб, обеспечиваемых заводами-изготовителями труб, что неприемлемо по ряду эксплуатационных требований к характеристикам трубопровода.

5. Неравенство результирующих усилий ($Q_{рез1} \neq Q_{рез2}$) приводит к большему раскрытию той стенки, которая привела к большему $Q_{рез}$ и к тенденции некоторого поворота трубы вокруг её оси от этой раскрывающейся стенки.

6. При практически равномерном распределении механических и геометрических характеристик основного металла по площади стенки трубы и практически идеальной геометрии труб, обеспечиваемой заводами-изготовителями труб, одностороннее закольцовывание может быть обеспечено искусственным ограничением раскрытия одной из стенок трубы, в частности, неравномерной по уровню и плотности грунта засыпкой трубы с противоположных от оси трубы сторон трубопровода, смещение трубопровода при монтаже в траншею к одной из сторон траншеи и т.д.

Реализация на основании совместных работ с ОАО «ГАЗПРОМ закольцовывания вязкого трещинообразования ТБД на коротком отрезке трубопровода с иницированием требуемого вида закольцовывания» повышает стойкость трубопроводов от разрушения протяжённой магистральной трещиной.

Список литературы

1. Томленов Ф.Д. Теория пластических деформаций металлов. Машгиз, 1951.
2. Качанов Л.М. Основы теории пластичности. М., Изд. «Наука», 1959, 420 с.
3. И.Ю. Пышминцев, В.Н. Лозовой. Особенности остановки закольцовыванием вязких магистральных трещин большого диаметра повышенных групп прочности. Труды XVI Международной научно-технической конференции «Трубы-2008». Сборник докладов. Челябинск. ОАО «РосНИТИ», - 313-319 с.

4. . Лозовой В.Н., Пышминцев И.Ю. Характер трещинообразования и особенности
5. Фриш С.Э., Тимофеева А.В. Курс общей физики. 1962, Физматгиз, - 263 – 269 с.
6. В.Н. Лозовой, И.Ю. Пышминцев. К прогнозированию, оптимизации текстуры основного металла труб большого диаметра. Труды XVII Международной научно-технической конференции «Трубы-2008». Сборник докладов. Челябинск. ОАО «РосНИТИ», - 81-84 с.
7. В.Н. Лозовой, И.Ю. Пышминцев. Оптимизация структуры основного металла труб большого диаметра (ТБД). Труды восьмого конгресса прокатчиков (Том I). Магнитогорск, 11-15 октября 2010, - 267-275 с.