

ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЦИКЛИЧЕСКУЮ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ И КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ СТАЛИ 17Г1С

Худяков М.А., Алтынова Р.Р.

В процессе длительной эксплуатации подземные трубопроводы подвергаются воздействию различных силовых факторов, основными из которых являются внутреннее давление, изменение температуры стенки трубопровода и давление грунта. В результате этого повышается склонность металла труб к хрупкому и замедленному разрушению вследствие накопления дефектов, внутренних микронапряжений, структурных изменений металла [1]. Вопросы безопасной эксплуатации магистральных трубопроводов в значительной мере решаются за счет применения современных технических средств неразрушающего контроля, в том числе методов внутритрубной диагностики. В настоящее время большое внимание уделяется созданию новых технических средств инструментального контроля и диагностики для всех видов строительно-монтажных работ и эксплуатации магистральных трубопроводов, разработкам в области дефектоскопии металла трубопроводов.

Так как наиболее опасным дефектом является трещина, то и большая часть существующих методов и средств диагностики ориентированы на обнаружение несплошностей материала [2]. Для выявления такого типа дефектов в ферромагнитных изделиях применяют магнитные методы контроля, в основе которых лежит намагничивание изделий постоянным магнитным полем. В результате металл длительное время работает в намагниченном состоянии и в присутствии коррозионной среды. В связи с тем, что магистральные нефтегазопроводы, как правило, не имеют внутренней заводской изоляции, то возможно изменение условий взаимодействия металла трубы с коррозионно-активными компонентами транспортируемого продукта.

В данных условиях возможны изменения механических характеристик металла (прочностных и пластических) по отношению к их сертифицированным значениям. В связи с этим проблема влияния постоянного магнитного поля на

механические свойства и коррозионную стойкость трубных сталей является актуальной для магистрального трубопроводного транспорта углеводородов.

В данной работе проводились исследования по влиянию постоянного магнитного поля на циклическую трещиностойкость и коррозионную стойкость стали 17Г1С, которая широко применяется при изготовлении труб магистральных нефтепроводов.

Испытания на циклическую трещиностойкость проводились на образцах, вырезанных вдоль оси трубы с V-образным надрезом, без воздействия постоянного магнитного поля и при одновременном намагничивании устройством УН-5. Место крепления намагничивающего устройства к образцу показано на рисунке 1. Расстояние между постоянными магнитами составляло 155 мм. Напряженность магнитного поля $H_t = 85$ А/см. Испытания проводились на воздухе и в среде 3 % NaCl, которая широко применяется в качестве модельной среды пластовых вод.

Испытания на малоцикловую коррозионную усталость проводились на плоских образцах размером 480x38x11 мм на усталостной машине по схеме чистого изгиба (рисунок 2). В основу принципа действия испытательной машины для изучения малоциклового усталости положен жесткий вид нагружения - контролируемым параметром циклического нагружения является в этом случае амплитуда деформаций.



Рисунок 1. Машина для испытания на малоцикловую усталость с намагничивающим устройством УН – 5



Рисунок 2. Схема нагружения и эпюра изгибающих моментов при чистом изгибе



Рисунок 3. Деформометр Гугенбергера

В работе применялся отнулевой цикл нагружения с частотой 50 циклов в минуту. Величина деформации составляла 0,28 % и определялась рычажным деформометром Гугенбергера (рисунок 3). Наблюдение за изменением длины усталостной трещины проводилось при помощи микроскопа МБС-9.

По результатам проведенных испытаний (рисунок 4) были построены зависимости длины образовавшейся трещины от числа циклов нагружения в различных коррозионных средах (рисунок 5).

Для определения математической модели глубины трещины как функции от числа циклов нагружения проводился регрессионный анализ на ЭВМ. Полученные эмпирические модели, описывающие процесс роста усталостной трещины и значения их коэффициентов приведены в таблице 1.

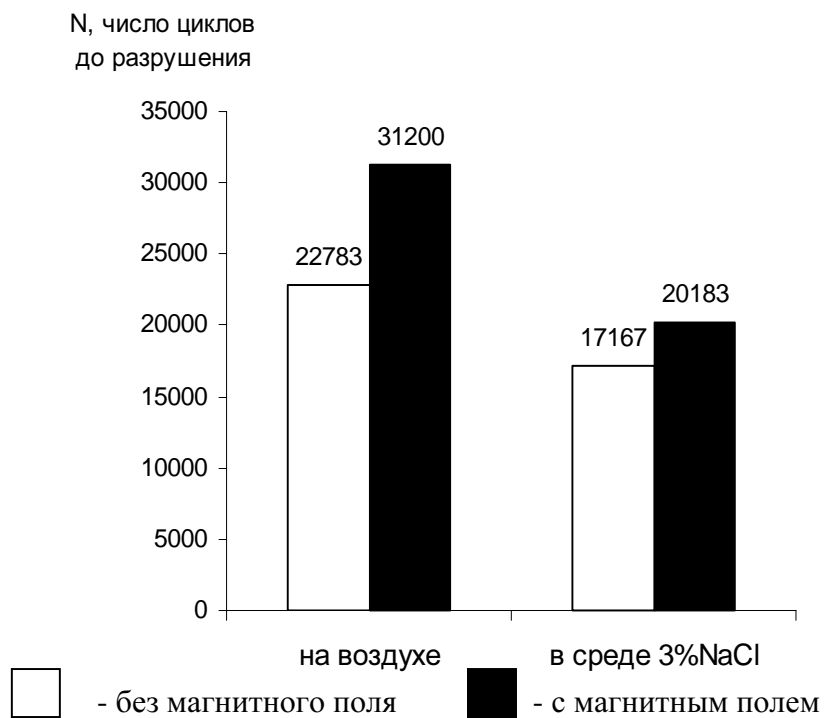


Рисунок 4. Результаты усталостных испытаний

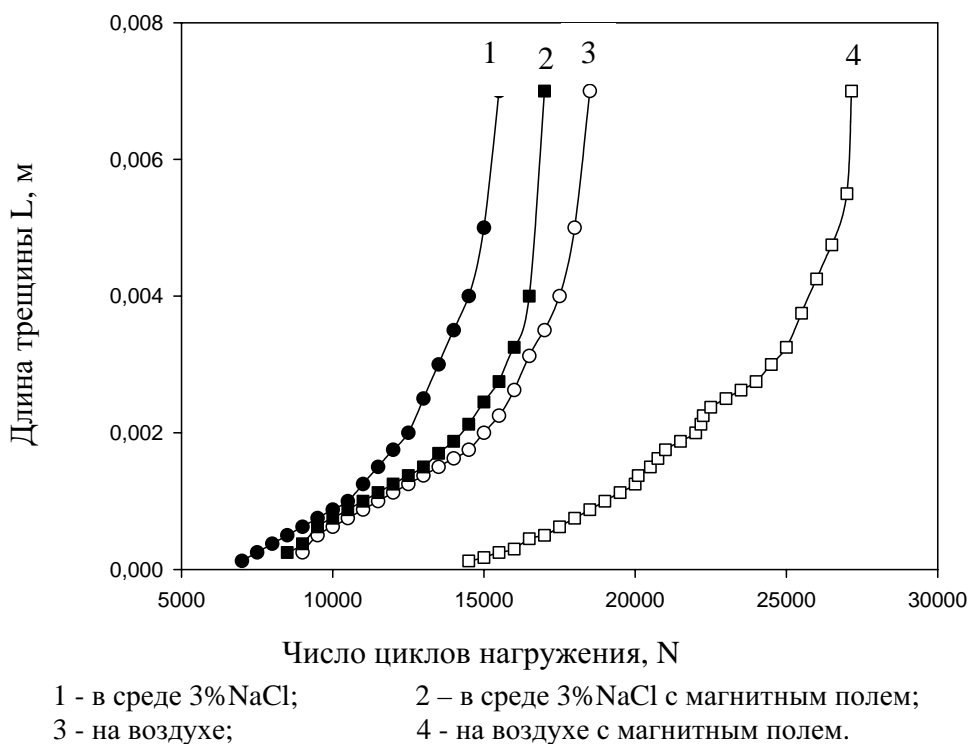
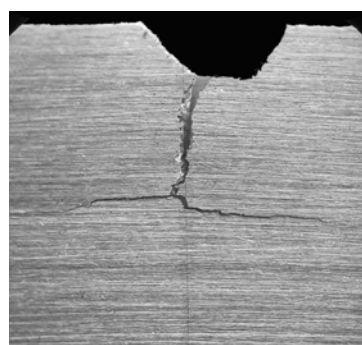


Рисунок 5. Зависимость длины трещины от количества циклов нагружения.

Таблица 1
Эмпирические модели, описывающие процесс роста усталостной трещины

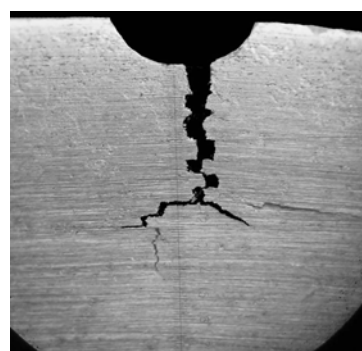
Условия испытания	C	m	Коэффициент корреляции
Модель $L=C*N^m$			
На воздухе	1,61961E-18	3,62972	0,98
В среде 3% NaCl	2,96063E-21	4,36408	0,99
В среде 3% NaCl с магнитом	6,75512E-19	3,73971	0,98
Модель $L=\exp(C+m/N)$			
На воздухе с магнитом	1,14051	110805	0,99

Результаты испытаний на МКУ показали, что при воздействии постоянного магнитного поля коррозионно-усталостная долговечность стали 17Г1С увеличивается в 1,37 раза на воздухе, в 1,2 при воздействии коррозионной среды (3% NaCl). Топография развивающихся трещин при различных условиях циклического нагружения образцов приведена на рисунке 6.



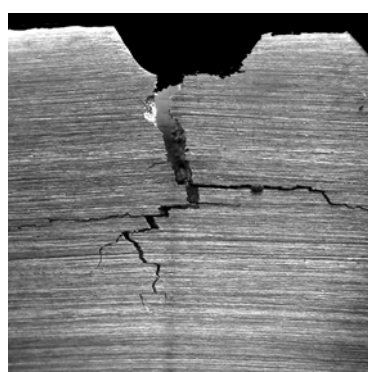
после 20250 циклов (x2)

а



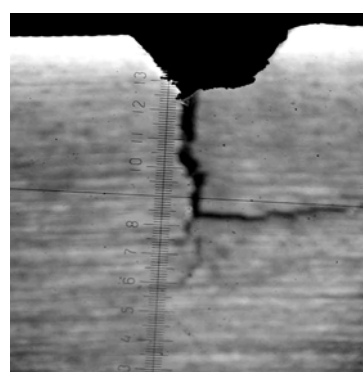
после 15500 циклов (x2)

б



после 23250 циклов (x2)

в



после 18000 циклов (x2)

г

Рисунок 6. Примеры развития усталостных трещин:

а – на воздухе; б – в среде 3% NaCl;

в – на воздухе при воздействии постоянного магнитного поля;

г – в среде 3% NaCl при воздействии постоянного магнитного поля.

В связи со структурной неоднородностью стали в виде равноосных зерен и текстуры усталостные и коррозионно-усталостные трещины могут развиваться вдоль направления прокатки.

Прогнозирование коррозионно-усталостной долговечности магистральных нефтепроводов осуществляется с использованием эмпирических зависимостей. Накопление повреждений до зарождения трещины описывается известной зависимостью Коффина-Мэнсона. На стадии стабильного роста трещины скорость ее роста, в соответствии с положениями механики разрушения, описывается выражением:

$$\frac{dl}{dN} = f(\Delta K), \quad (1)$$

где dl – приращение длины трещины за количество циклов dN ;

ΔK – изменение коэффициента интенсивности напряжений.

Обработка экспериментальных данных, приведенных на рисунке 5, проводилась на ЭВМ и позволила получить зависимости скорости роста усталостных трещин в стали 17Г1С от коэффициента интенсивности напряжений (рисунок 7).

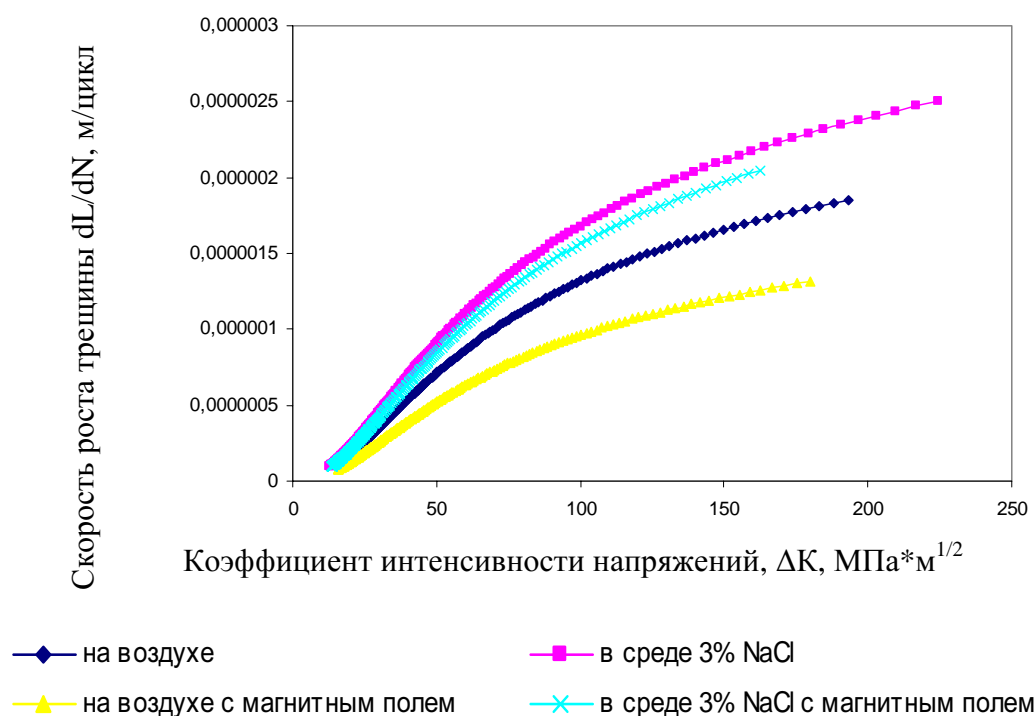


Рисунок 7. Зависимость скорости роста трещины от коэффициента интенсивности напряжений.

Полученная эмпирическая зависимость является логарифмической и описывается выражением

$$\frac{dl}{dN} = a + b \cdot \ln(p \cdot \Delta K), \quad (2)$$

где p - единичный нормирующий множитель, $1/(\text{МПа} \cdot \text{м}^{1/2})$, a и b - эмпирические коэффициенты, полученные регрессионным анализом, значение которых приведены в таблице 2.

Таблица 2

Эмпирические модели, описывающие процесс скорости роста усталостной трещины в зависимости от коэффициента интенсивности напряжений

Условия эксперимента	Коэффициенты		Коэффициент корреляции
$\frac{dl}{dN} = a + b \cdot \ln(\Delta K)$			
	a	b	R
На воздухе	-1,9858E-6	7,0700E-7	0,99
В среде 3% NaCl	-2,3594E-6	8,6131E-7	0,98
На воздухе с МП	-1,456E-6	5,173E-7	0,99
В среде 3% NaCl с МП	-2,160E-6	7,883E-7	0,98

В настоящее время в промышленности все большее распространение получают технологические процессы, в которых с целью повышения качества продукции и расширения технологических возможностей используется энергия магнитных полей. Последние воздействуют на структурные превращения в металлах, формоизменение, оказывают влияние на состояние поверхностных слоев изделий. Также магнитные поля применяются как в качестве единственного источника энергии (например, при магнито-импульсной обработке металлов давлением), так и в качестве дополнительного источника энергии совместно с другими воздействиями (например, с тепловым при термомеханической обработке или механическим - при магнито-абразивном нормировании).

В связи с этим проводились исследования по влиянию термомагнитной обработки на коррозионную стойкость стали 17Г1С в 0,9 н H₂SO₄. Образцы подвергались нормализации (нагрев до 920⁰С, выдержка в течении 10..20 минут, охлаждение на воздухе); термомагнитной обработке (нагрев до 920⁰С, выдержка в

течении 10..20 минут, охлаждение в магнитном поле). Часть образцов находилась в исходном состоянии.

Скорость коррозии определялась по потере массы образцов размером 50x10x10. Они взвешивались до и после проведения эксперимента на аналитических весах с точностью до 10^{-4} г. Определив площадь образцов, контактирующих с коррозионной средой, они устанавливались в держатели и помещались в емкость с коррозионной средой 0,9н H_2SO_4 (рисунок 8а), где выдержались в течение 166 часов. Затем вынимались из держателей, промывались дистиллированной водой, удалялись продукты коррозии волосяной щеткой или карандашной резинкой, снова промывались дистиллированной водой и высушились фильтровальной бумагой. Образцы в исходном состоянии помещались в емкость, которая устанавливалась между одноименными полюсами магнитов (рисунок 8б). После испытаний они визуально осматривались и определялся характер коррозии (общая равномерная или общая неравномерная).

Расчет скорости коррозии по потере массы образцов проводился по формуле:

$$K = \frac{m_1 - m_2}{S \cdot \tau}, \quad (3)$$

где K – скорость коррозии, г/(м²•ч);

S – площадь образца, м²;

τ – время испытания, ч;

m_1 – масса образца до испытания, г;

m_2 – масса образца после испытания, г.

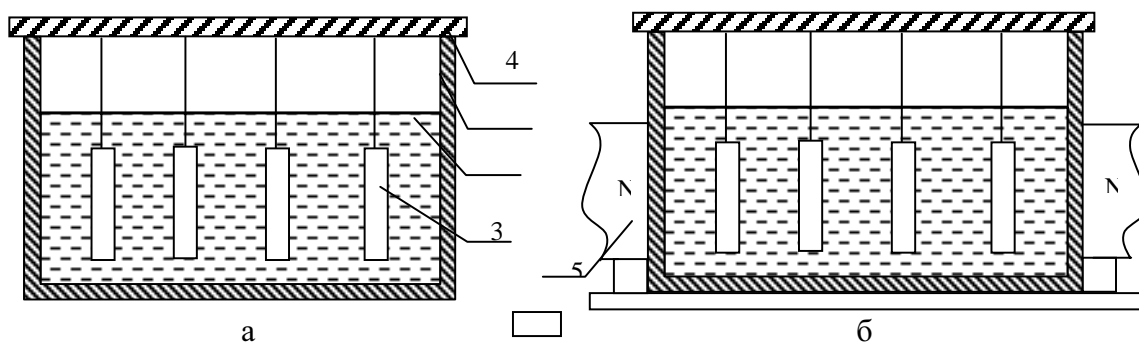
Глубинный показатель коррозии определялся по формуле:

$$П = \frac{8,76 \cdot K}{\rho}, \quad (4)$$

где $П$ – глубина проникновения коррозии, мм/год;

ρ – плотность металла, г/см³.

Полученные результаты гравиметрических испытаний представлены на рисунке 9.



1 – стакан; 2 – коррозионная среда; 3 – образцы; 4 – держатель; 5 – магнит
 Рисунок 8. Установка для коррозионных гравиметрических испытаний:
 а – без внешнего магнитного поля; б – с внешним магнитным полем.

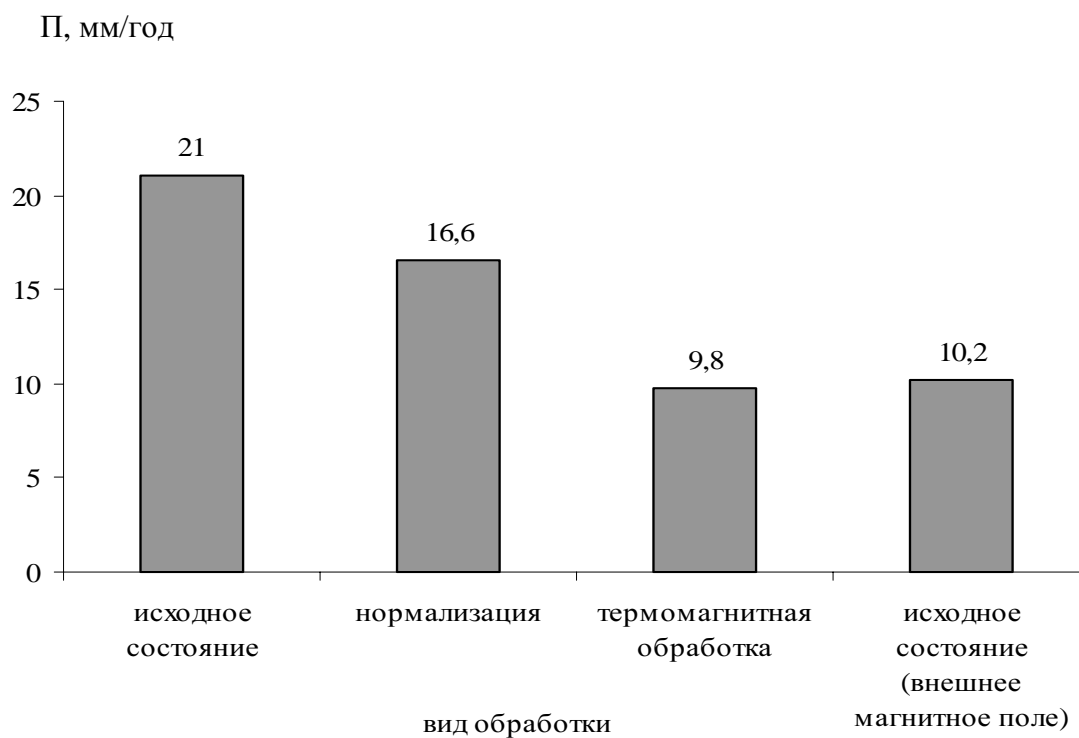


Рисунок 9. Зависимость скорости коррозии от вида обработки образцов и условий испытаний

Результаты гравиметрических коррозионных испытаний показали, что коррозионная стойкость стали 17Г1С в 0,9н H_2SO_4 после термической и термомагнитной обработки уменьшилась, по сравнению с исходным состоянием, в 1,3 и 2,16 раза соответственно. Наложение же внешнего магнитного поля повысило коррозионную стойкость в 2,12 раза.

Таким образом, установлено, что постоянное магнитное поле оказывает положительное воздействие на коррозионно-усталостную долговечность и коррозионную стойкость стали 17Г1С.

Литература

1. Микаэлян Э.А. Повышение качества, обеспечение надежности и безопасности магистральных газонефтепроводов для совершенствования эксплуатационной пригодности. – М. «Топливо и энергетика», 2001. – 640с.

2. Ланчаков Г.А., Зорин Е.Е., Степаненко А.И. Работоспособность трубопроводов: Ч. 3. Диагностика и прогнозирование ресурса. – 291 с.