

ТЕХНОЛОГИЯ КОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ ТРУБОПРОВОДОВ

© 2012 В.С. Гончаров¹, Е.В. Васильев¹, М.В. Гончаров²

¹Тольяттинский государственный университет

²Поволжский государственный университет сервиса, г. Тольятти

Поступила в редакцию 29.09.2011

В данной работе разработана комплексная технология защиты внутренних и внешних поверхностей металлических труб коррозионностойкими покрытиями на основе хрома, которые отличаются экологической безопасностью и высокими механическими характеристиками.

Ключевые слова: Вакуумно-диффузионное насыщение, газопламенное напыление, коррозионная защита, защитные покрытия, особые свойства.

Жизнь современного города во многом зависит от большого числа проложенных под ним коммуникаций. По стальным и железобетонным трубам сегодня обеспечивается теплоснабжение, циркулирует питьевая вода, выводятся канализационные стоки – все то, без чего наше существование уже невозможно.

Анализ имеющихся данных показывает, что трубопроводы, как правило, выполнены из стальных и чугунных труб, имеющих низкую коррозионную стойкость (рис. 1), 80% разрушений труб происходит из-за наружной коррозии [6].

Материальный ущерб от утечек холодной воды в целом по РФ в 2010 году составил 52,1 млрд. рублей в год (3474902,4 тыс. м³), от потери тепла - 49,4 млрд. рублей (126544,3 тыс. Гкал) (рис. 2) [11]. Из-за аварий на теплопроводах в зимнее время многие города и поселки остаются без тепла. Затраты на ликвидацию последствий, связанных с авариями на трубопроводах, составляют миллиарды рублей [9].

Ситуация с водопроводными и тепловыми сетями вызывает серьезные опасения. Уровень их износа составляет более 70 %, а долговечность не превышает 10-15 лет. Всего в Российской Федерации в 2010 году произошло 169998 тыс. аварий на водопроводах, 36334 на канализационных сетях и 14584 на источниках теплоснабжения, паровых и тепловых сетях (рис. 3) [11.] Участились аварии, сопровождающиеся большими потерями природных ресурсов и широкомаштабным загрязнением окружающей среды [6].

Из-за большой протяженности трубопровод-

ных сетей невозможно единовременно поменять все исчерпавшие свой ресурс трубы на новые, поэтому предлагается использовать технологию реновации – постепенной замены вышедших из строя труб на новые коррозионностойкие, срок службы которых составляет 50-100 лет. При этом основная выгода от использования таких труб будет получена в сфере их эксплуатации.

Защита внутренней и внешней поверхностей труб от коррозии - одна из наиболее актуальных задач во всём мире. На ее решение направлены различные методы с использованием современных материалов: пластмасса, керамика, стекло, резина, смолы, цинк, легированные сплавы. Однако применение неметаллических материалов и цинкового покрытия невозможно в теплосетях, особенно высоких параметров, срок службы таких труб может быть недостаточно высоким. Легированные сплавы хотя и эффективны, но ограничены в распространении из-за высокой стоимости.

В данной работе разработана комбинированная технология коррозионной защиты внутренней и внешней поверхности труб тепловых и водопроводных систем покрытиями на основе хрома методами газопламенного напыления и вакуумно-диффузионного насыщения, что обеспечивает полную, эффективную и относительно дешевую защиту от коррозии. При этом нанесение обоих покрытий происходит за один технологический процесс, что значительно снижает его трудоемкость и стоимость.

Диффузионный метод нанесения металлических покрытий осуществляется при высоких температурах и отличается от других рядом специфических особенностей. Механизм образования диффузионных металлических покрытий теснейшим образом связан с процессом диффузии в твердых телах. Этот процесс основа любых методов термической обработки металлов и сплавов, а также физико-химических явлений,

Гончаров Виталий Степанович, кандидат технических наук, профессор кафедры «Инженерная защита окружающей среды». E-mail: gvs777@gmail.com

Евгений Викторович Васильев, научный сотрудник центра высоких технологий. E-mail: avellko@yandex.ru

Гончаров Максим Витальевич, старший преподаватель кафедры «Сервис технических и технологических систем». E-mail: gvs777@gmail.com

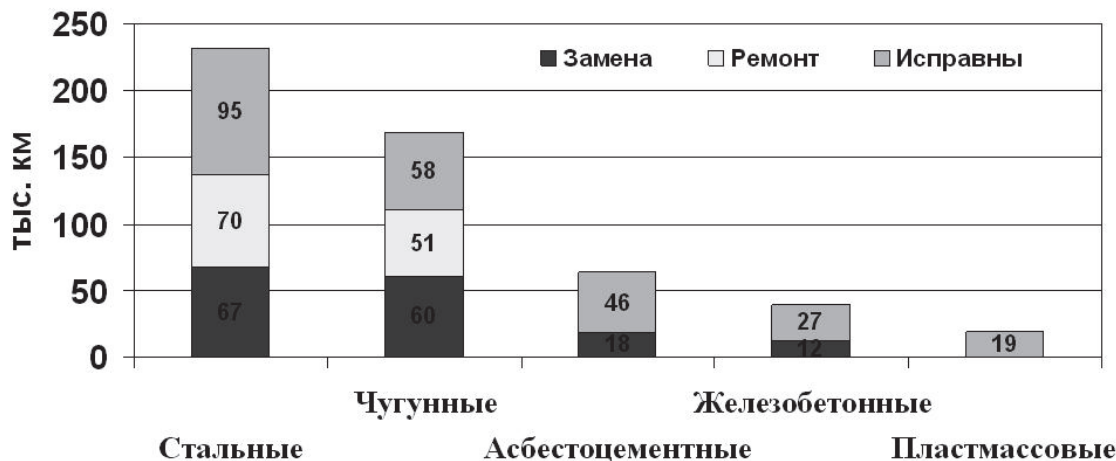


Рис. 1. Распределение труб по видам материалов



Рис. 2. Экономический ущерб, связанный с эксплуатацией трубопроводов, млрд.р./год

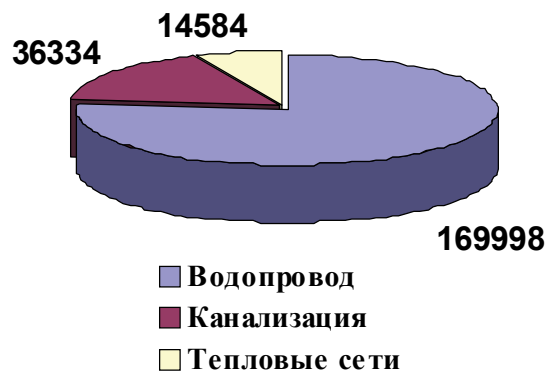


Рис. 3. Ежегодное количество аварий на трубопроводах

связанных с образованием сплавов. При нанесении покрытий диффузионным методом частицы вещества покрытия внедряются в кристаллическую решетку защищаемого металла, поэтому прочность связи покрытия с основным материалом обеспечена по определению. Наносимое вещество диффундирует в покрываемый материал тем глубже, чем выше температура и продолжительнее процесс диффузии.

Постепенное уменьшение концентрации наносимого вещества по глубине диффузионного слоя обуславливает менее резкое изменение свойств этого слоя.

В процессе образования диффузионных покрытий в кристаллической решетке покрываемого металла будут происходить тем большие искажения, чем больше разность размеров атомов наносимого вещества и покрываемого металла, поэтому необходимое условие для образования диффузионных покрытий – малое (не превышающее 15-16%) различие размеров атомов покрываемого металла и диффундирующего вещества. При нарушении этого условия наблюдаются слишком большие искажения кристаллической решетки металла растворителя (металла осно-

вы), приводящие к разрыву его атомных связей, т.е. к разрушению изделия.

Второе важное условие образования диффузионных покрытий – достаточная растворимость наносимого элемента в покрываемом металле при комнатной и повышенной температурах. Кроме того, для протекания процесса диффузии необходимо обеспечить контакт металлических поверхностей наносимого и защищаемого металлов[5].

Если принять, что диаметр атома α -железа равен $2,54 \cdot 10^{-10}$ м, то максимальный диаметр атомов элементов, образующих покрытия, не должен превышать $2,94 \cdot 10^{-10}$ м, что соответствует размеру атомов хрома. Толщина слоя диффузионного покрытия зависит от температуры и продолжительности процесса его нанесения:

$$X = 2\sqrt{Dt},$$

где X – толщина слоя покрытия;

t – время;

D – коэффициент диффузии.

Коэффициент диффузии можно представить следующим выражением:

$$D = D_0 \exp - \frac{Q}{RT},$$

где D_0 – предэкспоненциальный фактор, не зависящий от температуры;

Q – энергия активации;

R – универсальная газовая постоянная;

T – абсолютная температура.

По Френкелю, предэкспоненциальный фактор равен:

$$D_0 = \frac{\delta^2}{6m},$$

где δ – межатомное расстояние;

m – период колебания атомов около положения равновесия.

Технология вакуумно-диффузионного хромирования включает в себя следующие операции:

1. Струйно-абразивная обработка.
2. Засыпка труб порошком феррохрома (фракции 3-20 мм) и установка их в индуктор.
3. Герметизация с последующим созданием вакуума в трубах.
4. Нагрев локальной зоны труб до температуры 1150°С.
5. Включение механизма поступательного и вращательного движения труб с целью последовательного зонального нагрева по всей длине и предотвращения приварки порошка к поверхности.
6. Проведение 5 циклов перемещения труб относительно индуктора в течение 8 часов.
7. Быстрое охлаждение труб до температуры 80-100°С с последующей разгерметизацией с целью измельчения структуры основного металла, что повысит его механические свойства.

8. Удаление порошка феррохрома.

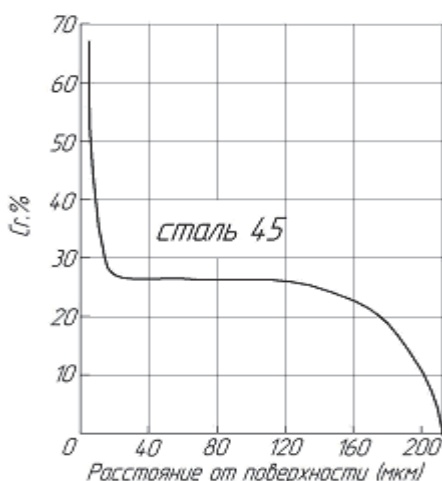
При вакуумном хромировании сталей 20, 35, 45, и У7А диффузионное покрытие состоит из карбидного слоя, темнотравящейся и обезуглероженной зоны, постепенно переходящей в основную структуру стали. Диффузионный слой на углеродистой стали представляет собой твердый раствор хрома в железе с мелкодисперсными включениями карбидов железа, препятствующими диффузии хрома в железо.

В результате вакуумного хромирования увеличиваются масса и размеры хромируемых изделий. Диффузия хрома максимальна для стали 10 и минимальна для среднеуглеродистых сталей. С повышением содержания углерода в стали от 0,2% до 0,64% масса и размеры изделий увеличиваются за счет осаждения хрома на поверхности.

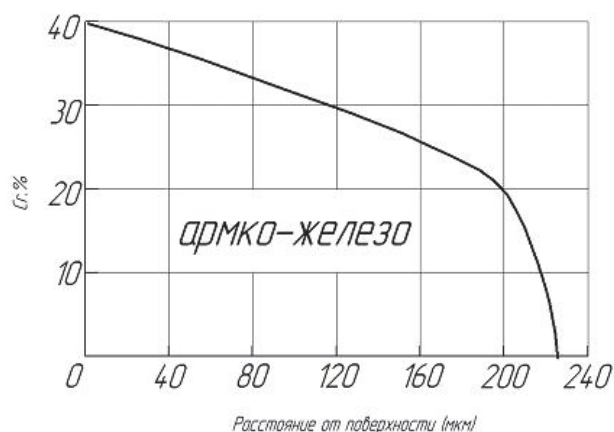
Распределение концентрации хрома по глубине диффузионного покрытия, показали, что хромовое покрытие на железе и стали состоит из твердого раствора с концентрацией хрома на поверхности 30-40%, которая постепенно снижается по глубине.

Диффузионное хромовое покрытие на стали У10 в поверхностном слое содержит от 65 до 85% хрома и имеет карбидную структуру, а глубже залегает слой твердого раствора с переменным содержанием хрома от 30% и ниже. На границе раздела карбидной фазы, и зоны твердого раствора на концентрационной кривой имеется минимум, свидетельствующий о том, что в пограничной зоне твердый раствор обеднен хромом (рис. 4, 5).

Наиболее простым и экономичным методом защиты наружной поверхности труб от коррозии является газопламенный метод нанесения по-



а)



б)

Рис. 4. Распределение концентрации хрома по глубине диффузионных покрытий на стальных образцах после вакуумного хромирования при температуре 1150°С, выдержки в течении 6 ч и быстрого охлаждения:
а – для стали 45; б – для армко-железа

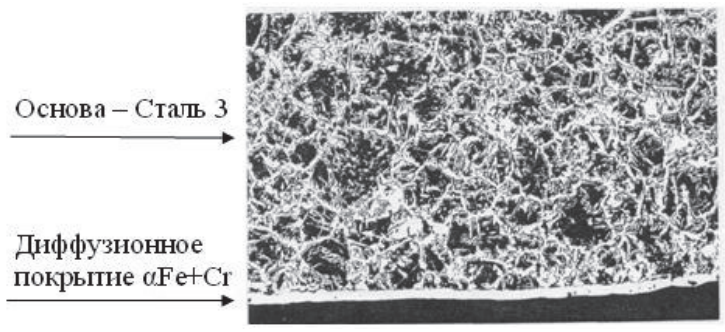


Рис. 5. Покрытие, полученное вакуумно-диффузионным хромированием внутренней поверхности трубы при 1150°С в течении 6ч. Сталь10 – Cr. Увеличение x50

крытий [1, 4]. Предлагаемая комплексная технология включает в себя:

1. Струйно-абразивная обработка наружной поверхности труб с целью активации поверхности и придания ей нужной шероховатости.
2. Газопламенное напыление на наружную поверхность труб самофлюсующегося порошка феррохрома, который под действием индуктора оплавляется.
3. Дробеударная обработка с целью уменьшения пористости покрытия.

Данная технология обеспечивает получение равномерного по периметру и длине труб хромового покрытия, толщина которого составляет 400-500 мкм (рис. 6).

Исследование образцов с защитными покрытиями показало, что скорость их коррозии в морской воде стремится к нулю (рис. 7, 8).

Техническим результатом от применения предлагаемой технологии является:

1. Значительное снижение скорости коррозии металлических труб
2. Увеличение срока эксплуатации до 50-100 лет.
3. Повышение экологической безопасности при использовании в системах питьевого водоснабжения
4. Снижение аварийности на трубопроводах
5. Возможность использования в теплосетях, нефте- и газопроводах, в т.ч. высоких параметров.
6. Повышение механических свойств труб, воз-

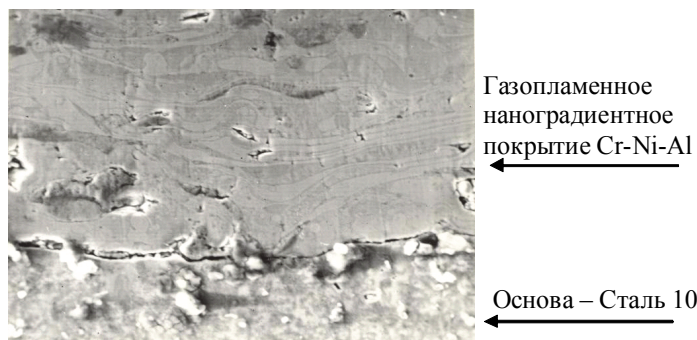


Рис. 6. Хромовое покрытие, нанесенное газопламенным способом на стальной образец. Увеличение x400

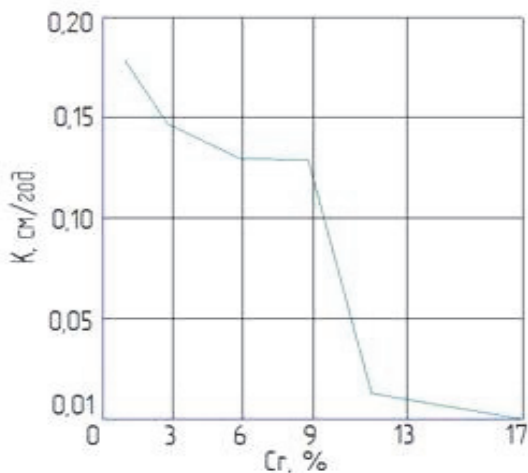


Рис. 7. Скорость коррозии сталей в морской воде в зависимости от содержания хрома при 0,1 % С

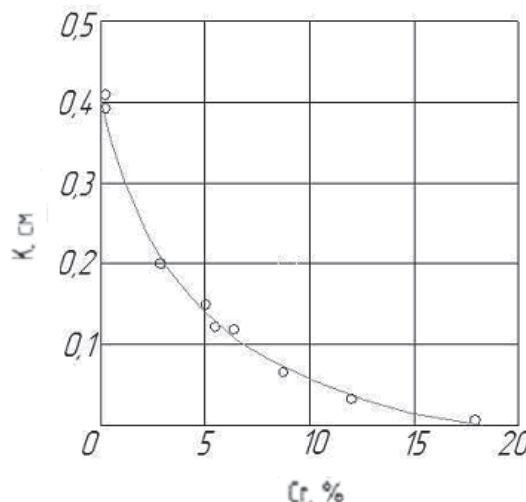


Рис. 8. Влияние содержания хрома в стали на коррозию образцов при 650°С (в течение 1300 ч)

возможность сварки и пластической деформации без нарушения внутреннего и внешнего защитных слоев.

В данной работе решалась проблема получения эффективных коррозионостойких покрытий, которые позволяют существенно повысить срок службы стальных труб из малоуглеродистой стали и защитить питьевую воду от загрязнения продуктами коррозии.

Разработанная комплексная технология защиты внешней и внутренней поверхностей труб высокоэффективными покрытиями на основе хрома востребована при мелкосерийном (ямочном) и серийном ремонте водо- и теплосетей. Коррозионная стойкость покрытий низкоуглеродистых сталей не уступает, а порой и выше, чем у высоколегированных сплавов типа X25H10T. Невысокая себестоимость производства на уровне высококачественной окраски обеспечивает высокую рентабельность производства и экономическую эффективность. Предлагаемая коррозионная защита обеспечивает высокую экологическую безопасность для человека при длительной эксплуатации тепло- и водопроводных сетей – более 50 лет. Высокая экономическая эффективность предлагаемой технологии позволяет не только повысить экологическую безопасность трубопроводов, но и извлечь из этого значительную выгоду. Технология может найти применение в различных отраслях народного хозяйства: ЖКХ, теплоэнергетике, металлургии, машиностроении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Газотермическое напыление композиционных порошков / А.Я. Кулик, Ю.С. Борисов, А.С. Мнухин, М.Д. Никитин. Л.: Машиностроение, 1985. 199 с.
2. Поляк М.С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения. М.: Машиностроение, 1995. 832 с.
3. Никитин М.М. Технология и оборудование вакуумного напыления. М.: Металлургия, 1992. 112 с.
4. Гончаров В.С., Гончаров М.В. Коррозионная защита тепло-водопроводных труб // Наука – промышленность и сервису. 2007. С. 47-51.
5. Мельник П.И. Технология диффузионных покрытий. К.: Техника, 1978. 151 с.
6. Алексеев Н.В. Состояние трубопроводов коммунального хозяйства // Трубопроводы и экология. 2010. № 2. С. 15-26.
7. Авторское свидетельство № 1317979 «Способ получения комбинированных покрытий на стальных изделиях».
8. Патент на изобретение РФ № 2081936 «Способ нанесения многокомпонентного покрытия на стальные изделия».
9. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2009 году» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=98694> (дата обращения 3.09.2011).
10. Гончаров В.С. Методы получения защитных покрытий // Машиностроитель. 2001. №5. С. 30-33.
11. Центральная база данных Федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru/dbscripts/Cbsd/DBInet.cgi> (дата обращения 3.09.2011).

PIPELINES CORROSION PROTECTION TECHNOLOGY

© 2012 V.S. Goncharov¹, E.V. Vasilyev¹, M.V. Goncharov²

¹ Togliatti State University

² Volga Region State University of Service, Togliatti

In this work a complex technology has been described to protect the internal and external surfaces of the metal pipes with corrosion-resistant coatings based on chromium, which differ in environmental safety and high mechanical characteristics.

Keywords: Vacuum-diffusion saturation, gas-flame spraying, corrosion protection, protective coatings, special properties.

Vitaly Goncharov, Candidate of the Technical Sciences, Professor at the Environmental Protection Engineering Department. E-mail: gvs777@gmail.com

Eugene Vasilyev, Researcher of the Center of High Technologies. E-mail: avellko@yandex.ru

Maxim Goncharov, Senior Lecturer at the Service of Technical and Technological Systems Department.

E-mail: gvs777@gmail.com