

Verfahren zur Nachumhüllung des Schweißnahtbereichs von Pipelines

von Ian Thompson, Senior Consultant, Advantica Ltd.

Hintergrund

Werkseitige Beschichtung von Stahlrohrleitungen

1. Hintergrund

Pipelines gelten allgemein als effizientestes und sicherstes Transportmittel für Flüssigkeiten und Gase über weite Distanzen. Durch die stetig wachsende Nachfrage nach immer längeren Pipelines mit immer größeren Durchmessern – sei es als Onshore-Leitungen, sei es als Offshore-Pipelines, die in immer größeren Wassertiefen verlegt werden – sind Schutzbeschichtungen zu einer der wichtigsten Technologien zur Instandhaltung dieser Konstruktionen geworden. Die Betriebstemperaturen mancher heutiger und zahlreicher zukünftiger Projekte beanspruchen die Korrosionsschutzbeschichtungen bis an die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit. Sie zwingen die Betreiber, sich in Bezug auf die langfristigen Eigenschaften dieser Werkstoffe in unbekanntes Territorium vorzuwagen. Neue werkseitige Beschichtungen wurden speziell für die zunehmende mechanische und thermische Beanspruchung entwickelt. Gleiches gilt für die Nachumhüllung des Schweißnahtbereichs.

In diesem Artikel werden die gängigen Methoden zur Nachumhüllung von Schweißnähten im Pipelinebau beschrieben und die von Advantica in den letzten 25 Jahren in der Entwicklung, Prüfung, Anwendung und Betriebsüberwachung der Werkstoffe gewonnenen Erkenntnisse dargelegt.

Die Wahl des bestgeeigneten Beschichtungsmaterials ist für einen dauerhaften Schutz von Pipelines und für eine kosteneffektive Korrosionsschutzlösung essenziell. Der Korrosionsschutz einer Pipeline besteht aus einer in der Regel werkseitig hergestellten Beschichtung sowie einem kathodischen Schutz. Die spezifischen Anforderungen an das Beschichtungssystem hängen von folgenden Faktoren ab:

- Methode der Aufbringung
- Betriebstemperatur
- Bauverfahren
- Bedingungen bei der Aufbringung,

Es empfiehlt sich, die Eigenschaften des gewählten Materials für die Nachumhüllung so weit wie möglich an die der Werksumhüllung anzugleichen. Darüber hinaus muss der Prozess der Nachumhüllung auch den schnellen Produktionszyklen bei der Vorfertigung und beim Verlegen des Rohrstranges Rechnung tragen.



ABBILDUNG 1. Einsatz von Heizspule und Puderdruckbestäuber.

2. Werkseitige Beschichtungen

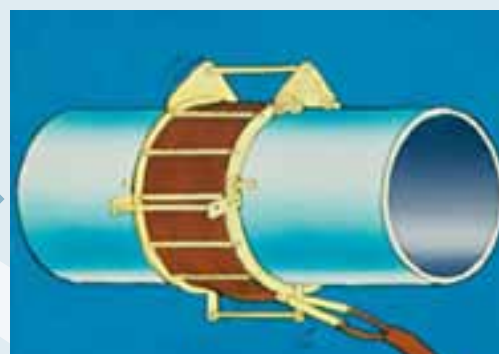
Während in der Vergangenheit Stahlrohre für den Pipelinebau mit Steinkohlenteerfarbe, Bitumen und Zweischicht-Polyethylen(PE)-Beschichtungen geschützt wurden, werden heute ein- und zweischichtige, schmelzverbundene Epoxidharze (FBE) und dreischichtige Polyethylen(PE)- oder Polypropylen(PP)-Beschichtungen bevorzugt. Dreilagige Polyolefin-Beschichtungen bestehen aus einer FBE-Grundsicht, einer Kopolymer-Zwischenlage und einer dicken Außenschicht aus PE oder PP.

Der vorliegende Artikel befasst sich mit der Darstellung der verschiedenen Nachumhüllungssysteme für den Schweißnahtbereich, die bei werkseitig mit FBE- oder dreilagigen Polyolefin umhüllten Stahlrohren verwendet werden können.

Nachumhüllungsoptionen für FBE-beschichtete Stahlrohre



STRAHLEN



ERHITZEN



BESCHICHTEN



KONTROLLIEREN

ABBILDUNG 2.
Schema eines
FBE-Beschichtungs-
prozesses.

3. Umhüllung des Schweißnahtbereichs von FBE-beschichteten Stahlrohren

3.1. Schmelzverbundene Epoxidharze

Sind Stahlrohre mit einer werkseitigen FBE-Beschichtung versehen, werden für die Schweißnahtbereiche schmelzverbundene Epoxidbeschichtungen bevorzugt. Bei diesem Verfahren wird der Nachumhüllungsprozess mit halbautomatischen Maschinen im Stoßverbindungsbereich repliziert (siehe Abb. 1 und 2). Die FBE-Beschichtung von Montagestoßen ermöglicht Beschichtungszyklen von etwa sechs bis zehn Minuten Dauer. Dies kommt einer hohen Produktionsgeschwindigkeit zugute. Zur möglichst schnellen Erwärmung des

Schweißnahtbereichs und damit zur raschen Aufschmelzung des FBE-Pulvers werden Induktionsheizspulen eingesetzt. Advantica hat die Erfahrung gemacht, dass es für den Erfolg des Prozesses auf die Anordnung der Induktionsspule ankommt. Ist die Induktionsspule nicht konzentrisch mit der Röhre, und sind die Abstände zwischen den Spulenwindungen nicht gleichmäßig, treten sowohl axial als auch radial erhebliche Temperaturschwankungen auf. Dadurch wird die Blasenbildung in extrem heißen Zonen des FBE-Films begünstigt, während die Beschichtung in den kälteren Bereichen des Montagestoßes nur unzureichend aushärtet. Ein wichtiger Teil jedes Beschichtungsprojekts sind Versuche zur Eignungsprüfung des Verfahrens vor Produktionsbeginn.

Manche FBE-Pulver neigen stärker dazu, Wasser aufzusaugen, und können daher bei zu langer Lagerzeit vor der Verarbeitung extreme Wassermengen in den Film einbringen. Bei der Beschichtung wird dieses Wasser durch die Induktionserwärmung aus dem Aufschmelz- →

Nachumhüllungsoptionen für FBE-beschichtete Stahlrohre

ABBILDUNG 3.
Blasenbildung der Beschichtung während der Vorwärmung.



ABBILDUNG 4.
Bei MCL-Beschichtungen kann ein falsches Mischverhältnis zu Ablösungen führen.



→ film herausgetrieben. Allerdings kann es aufgrund der sehr schnellen Erwärmung (~100 °C/min) nicht kontrolliert entweichen und bildet oft Blasen in der Werksumhüllung (Abb. 3). Bei dünnwandigen Stahlrohren, die sich schneller erwärmen, ist dieses Problem häufig besonders ausgeprägt. Advantica hat Testverfahren entwickelt, mit denen die ausführenden Unternehmen FBE-Umhüllungen, die zur Blasenbildung neigen, identifizieren und meiden können.

Die Erdgasindustrie zeigt in zunehmendem Maße Interesse an hochfesten Stählen für Gaspipelines. Sollen dann FBE-Nachumhüllungen aufgebracht werden, muss das ausführende Unternehmen die potenziellen Veränderungen der mechanischen Eigenschaften des Stahls infolge der Erhitzung beim Beschichten in Betracht ziehen. Bevor eine Entscheidung zugunsten solcher hochfester Werkstoffe fällt (meist Sorten ab X80), müssen die Auswirkungen der Induktionserwärmung sowohl auf die Werksumhüllung als auch auf die Nachumhüllung gründlich untersucht werden. Für Advantica sind folgende Aspekte von besonderem Interesse:

- die Auswirkungen der FBE-Aufbringungstemperaturen auf die mechanischen Eigenschaften hochfester Stähle;
- die Verfügbarkeit von FBE-Werkstoffen, die bei niedrigerer Temperatur aushärten und damit die hohe Vorwärmung vermeiden;
- Möglichkeiten zur Erzielung der empfohlenen FBE-Beschichtungsstärke bei diesen niedrigeren Aufbringungstemperaturen sowohl in der Beschichtungswerkstatt als auch vor Ort;

- die Auswirkungen der niedrigeren Aufbringungstemperaturen auf die End Eigenschaften des Nachumhüllungsmaterials.

3.2. Mehrkomponenten-Flüssigkeiten

Zweikomponenten-Polyurethan, Epoxid-Urethan, Novalac und phenolische Beschichtungen werden häufig zum Schutz des Schweißnahtbereichs von FBE-beschichteten Röhren eingesetzt. Sie können mit manuellen oder automatischen Spritzvorrichtungen oder händisch (Rolle/Pinsel/Spachtel) aufgetragen werden. Durch den Einsatz automatischer Spritzgeräte lässt sich der Prozess deutlich beschleunigen. Da die Trocken- bzw. Aushärtezeiten dieser Werkstoffe temperaturabhängig sind, ist in kälteren Klimazonen unter Umständen eine Vorwärmung/Nachwärmung erforderlich, um die Aushärtung zu beschleunigen und die Zeit zwischen Beschichten und Verlegen zu verkürzen.

Das häufigste Problem bei MCL-Beschichtungen ist eine durch ein falsches Mischverhältnis oder eine unzureichende Vermischung von Grundmaterial und Härtungsmittel bedingte mangelhafte Aushärtung oder die Bildung von Blasen (Abb. 3 und 4). In vielen Fällen bilden sich die Blasen erst nach dem Eingraben der Pipeline.

Enthält eine Polyurethan-Beschichtung zu viel Härtungsmittel, reagiert dieses mit Feuchtigkeit aus der Luft zu Kohlendioxidgas. Der Gasdruck innerhalb der Beschichtung verursacht die Blasen. Bei höheren Temperaturen ist diese Reaktion ausgeprägter; Sonnenein-

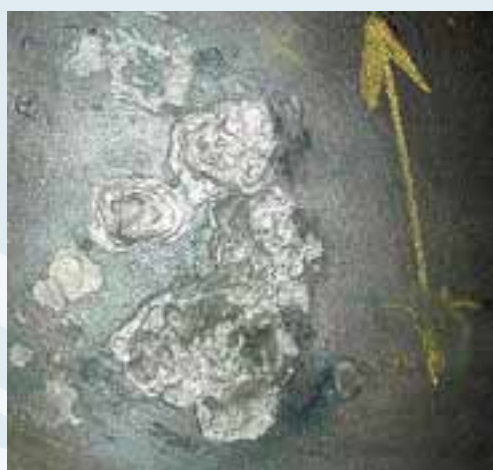


ABBILDUNG 5.
Korrosion, die unter
einer fehlerhaften
Beschichtung
aufgetreten ist.

wirkung unmittelbar nach der Aufbringung kann die Blasenbildung beschleunigen. Ein im Rahmen der Qualitätskontrolle durchgeführter Wärmeblasentest kann die ausführenden Personen auf ein falsches Mischverhältnis oder ungenügendes Vermischen aufmerksam machen. Bei der Aufbringung von Hand sind Fehler beim Mischverhältnis eher unwahrscheinlich, da die beiden Komponenten des MCL-Werkstoffs bereits in vordosierten Behältern geliefert werden.

Wie die Erfahrung von Advantica belegt, können flüssige Beschichtungen eine mit FBE-Röhrenbeschichtungen vergleichbare Schutzwirkung entfalten, wenn sie korrekt aufgebracht werden. Zudem lassen sich mit MCL-Beschichtungen Produktionsraten von bis zu 350 Montagestößen pro Tag erzielen.

3.3. Schrumpfmanschetten

Zum Schutz der Montagestöße von FBE-beschichteten Röhren werden häufig Schrumpfmanschetten eingesetzt. Bei großen Rohrdurchmessern ist es allerdings schwierig, eine gleichmäßige Erwärmung und damit eine einheitlich hohe Aufbringungsqualität zu erzielen. Induktionsspulen bieten Abhilfe, erhöhen aber aufgrund der erforderlichen Einrichtungen zur Energieerzeugung die Kosten.

Zwar sollen sich Schrumpfmanschetten angeblich auch für manuell vorbereitete Trägermaterialien eignen, jedoch vertritt der Autor die Auffassung, dass die Aufbringung grundsätzlich auf einer sandgestrahlten Fläche erfolgen sollte. Schrumpfmanschetten lösen sich

eher ab, wenn sie auf mechanisch vorbereitetem Untergrund aufgebracht werden. Haben sie sich erst gelöst, können sie den kathodischen Schutzstrom unterbinden und unter der Folie Bedingungen schaffen, die mikrobiell induzierte Korrosion oder annähernd neutrale Spannungsrisskorrosion fördern (Abb. 5).

Aufgrund ihrer thermoplastischen Eigenschaften reagieren Manschetten →



ABBILDUNG 6.
Faltenbildung
infolge von
Beanspruchung und
Erddlasten.

Nachumhüllung von PE- oder PP-umhüllten Stahlrohren

ABBILDUNG 7. Gegen Belastungen durchs Erdreich bieten mit Heißklebern aufgebrachte PP-Manschetten besseren Schutz.



→ empfindlicher auf Einflüsse des umgebenden Erdreichs (beim Austrocknen von stark schrumpfenden Tonen) bei kurzzeitiger Überwärmung, beispielsweise in Strecken nach Kompressorstationen (Abb. 6). Bei höheren Betriebstemperaturen (> 80 °C) können mit Heißklebern statt mit Mastix aufgebrachte Polypropylen-Manschetten einen besseren Schutz gegen Belastungen durchs Erdreich bieten (Abb. 7). Schrumpfmanschetten sind ein sehr praktisches Mittel zum Schutz von Montagestößen und zum schnellen Abspulen und Verlegen von Rohrleitungen.

4. Nachumhüllung von werkseitig PE- und PP-umhüllten Stahlrohren

Schrumpfmanschetten werden immer mehr zur Standardlösung für die Verbindungsbe-
reiche von Stahlrohren mit dreilagiger Polyolefin-Beschichtung. Die Schwierigkeit einer gleichmäßigen Erwärmung bei großen Röh-
rendurchmessern und die durch die Vorwärm-
temperatur bedingte Beeinträchtigung der

Haftwirkung der Werksumhüllung können sowohl die Schutzwirkung im nachumhüllten Schweißnahtbereich als auch des Übergangsbereichs zur Werksumhüllung mindern.

4.1. Mehrkomponenten-Flüssigkeiten

Beschichtungen aus Mehrkomponenten-Flüssigkeiten werden häufig zum Schutz des Schweißnahtbereichs PE- oder PP-umhüllter Stahlrohre eingesetzt. Bei direktem Auftrag auf Stahl sind diese Beschichtungen zwar ausgezeichnet – allerdings besteht die besondere Herausforderung darin, eine gute Verbindung zwischen dem zu umhüllenden Bereich und der werkseitigen Umhüllung zu erzielen. Eine Möglichkeit zur Bewältigung dieses Problems bietet eine FBE-Grundsicht im Randbereich der dreilagigen Beschichtung, deren vorstehender Teil als primäre Verbindungsschicht fungiert (Abb. 8).

Der die hervorstehende Polyolefin-Schicht überdeckende Teil der Mehrkomponenten-Flüssigkeitsbeschichtung bildet die sekundäre Verbindung. Weitere Möglichkeiten zur Verbesserung der Haftung sind entweder eine Vorbehandlung, die die chemische Verbindung zwischen beiden Werkstoffen verbessert, oder eine

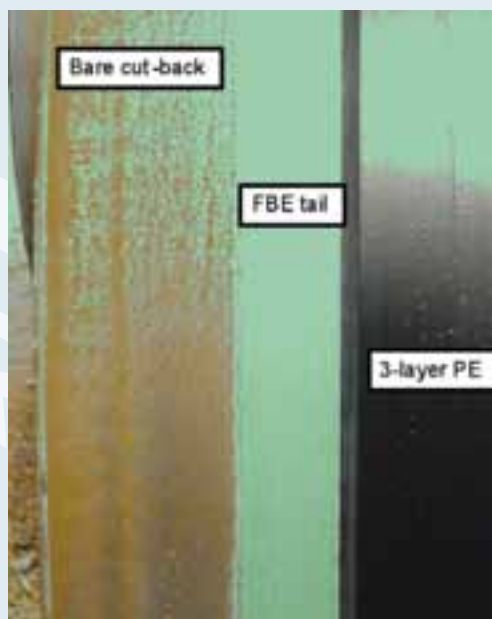


ABBILDUNG 8. Eine FBE-Grundsicht im Randbereich der dreilagigen Beschichtung verbessert die Verbindung zur Schweißnahtumhüllung.

Wärmebehandlung des Polyolefin-Überlappungsbereichs.

Aufgrund der thermoplastischen Eigenschaften von Polyolefinen und der thermischen Aushärtung der Mehrkomponenten-Flüssigkeitsbeschichtung kommt es bei dem Prozess der Nachumhüllung darauf an, eine gute Aushärtung und dadurch die Flexibilität der Mehrkomponentenbeschichtung sicherzustellen. Wird dies vernachlässigt, können sich im Überlappungsbereich zwischen der Werksumhüllung und der Nachumhüllung Risse bilden.

4.2. Gesinterte PE- oder PP-Kopolymere

Sie eignen sich zum Schutz des Schweißnahtbereichs von werkseitig mit PE oder PP umhüllten Stahlrohren. Diese Werkstoffe werden im Flockenspritzverfahren aufgebracht: Kleine Pulverpartikel werden mit einem Druckluftstrahl auf die erhitzte Trägerschicht gesprüht, wobei zunächst die FBE-Schicht und dann das Kopolymer aufgetragen wird. Die vom Schweißen verbleibende Wärme der Schweißnaht veranlasst das Kopolymer, zu schmelzen und sich zu verbinden. Die Zeit zwischen dem Auftrag des FBE und des Kopolymers ist für die Ver-

bindung zwischen beiden ein entscheidender Faktor; häufig erweist sich der Einsatz eines FBEs mit verlängerter Gelphase als hilfreich.

Die induktive Erwärmung des Schweißnahtbereichs kann allerdings die Haftung der Nachumhüllung beeinträchtigen. Außerdem kann die Adhäsion im Überlappungsbereich zwischen werkseitiger und nachträglich aufgebrachtener Beschichtung kompromittiert werden. Aufgrund der niedrigen Wärmeleitfähigkeit des Polymers ist die Beschichtungsstärke automatisch beschränkt (< 1 mm), und die äußere Schicht neigt zur Porosität.

4.3. PE- oder PP-Bandagen

Diese Techniken sind die neueste Entwicklung für den Schutz von Montagestößen bei dreilagiger Polyolefin-Röhrenbeschichtung. Nach dem Auftrag einer FBE- und einer Kopolymer-schicht wird die Bandage mit einer speziellen Maschine unter Wärmeeinwirkung spiralförmig aufgebracht. Der wichtigste Vorteil dieses Verfahrens: Es hinterlässt keine wahrnehmbare Schnittstelle im Überlappungsbereich zwischen Röhren- und Montagestoßbeschichtung. Dabei ist es wichtig, die Materialeigenschaften der Werksumhüllung und der gewählten →

Fazit

ABBILDUNG 9.
Flammspritz-Verfahren zum Auftrag einer PP-Röhrenbeschichtung.



→ Nachumhüllung möglichst eng aufeinander abzustimmen.

4.4. Flammspritzen

Dieses Verfahren eignet sich zum Auftrag einer dreilagigen werkseitigen PP-Umhüllung replizierenden Beschichtung des Rohrstoßbereichs (Abb. 9). Nach dem Auftrag der FBE- und der Kopolymer-Schicht wird PP-Pulver mit einer Flammspritzpistole mit Stickstoff als Inertgas bis zur gewünschten Schichtdicke aufgespritzt. Das Hauptproblem dieses Verfahrens ist die extrem schwierige Kontrolle der Parameter, die die Eigenschaften der einzelnen Schichten wesentlich beeinflussen. Montagestoßbeschichtungen dieses Typs erfordern besonders gut geschulte Fachkräfte und sind bei größeren Rohrdurchmessern extrem zeitintensiv. Dadurch ist dieses Aufbringungsverfahren sehr kostspielig.

4.5. Spritzpressen

Das Verfahren ähnelt dem beschriebenen Flammspritzverfahren, mit dem einzigen Unterschied, dass die letzte PP-Schicht extrudiert (stranggepresst) statt flammgespritzt wird. Dabei verschweißt der Spritzpressprozess die Werksumhüllung der Stahlrohre und die Nachumhüllung miteinander. Nach diesem Verfahren hergestellte Nachumhüllungen sind

vermutlich einheitlicher, jedoch sind auch sie mit den Nachteilen der Größenbegrenzung und des hohen Zeit- und Kostenaufwands behaftet.

4.6. Koextrudierte Polypropylen-Folie

Diese Folie produziert eine Umhüllung mit Eigenschaften, die der dreilagigen werkseitigen PP-Beschichtung nahekommen. Vor der Aufbringung der koextrudierten Folie werden die FBE- und die Polypropylen-Kopolymer-Schicht im Flockenspritzverfahren aufgetragen. Die koextrudierte Polypropylen-Folie muss vor dem Aufbringen durch Erhitzen biegsam gemacht werden. Die Folie wird entlang den Längs- und Querkanten nach dem Extrusionsschweißverfahren mit Polypropylen fest mit der Werksbeschichtung verklebt. Zwar sind bereits zahlreiche Montagestöße nach diesem Verfahren beschichtet worden, jedoch gibt es Anzeichen von Rissbildung an den PP-Schweißnähten im Laufe des Betriebs.

5. Fazit

Wie die Erfahrung zeigt, gibt es keinen Grund zur Annahme, die Nachumhüllung sei das „schwächste Glied“ in der Beschichtung einer Pipeline. Heute stehen für alle gängigen werkseitigen Umhüllungen Verfahren zur Nachumhüllung zur Verfügung, deren Eigenschaften der Werksumhüllung gleichwertig sind. Nichtsdestoweniger sind unabhängige Versuche zur Überprüfung der Verarbeitungsverfahren vor Beginn des eigentlichen Beschichtungsprozesses unverzichtbar. Denn nur so lassen sich spätere verfahrensbedingte Probleme vermeiden und optimale Eigenschaften der Nachumhüllung sicherstellen.



PROFIL: ADVANTICA

Advantica ist ein globales Beratungsunternehmen, das breit gefächertes Know-how, Ingenieurdienstleistungen und Softwarelösungen zur Steigerung der Betriebssicherheit und Leistungsfähigkeit von Energie- und Wasserversorgungssystemen anbietet. Zu den Spezialgebieten gehören Planung und Konstruktion, Erhöhung von Betriebsleistung, Systemsicherheit und -integrität sowie Testen und Zertifizierung. Advantica ist ein Unternehmen der Germanischer Lloyd-Gruppe.

Informationen: www.advanticagroup.com