

Kolbenstangenbeschichtungen im Offshore-Einsatz Piston rod coatings in offshore utilisation

Dr.-Ing., MBA Ingo Rühlicke, Walter Hunger GmbH & Co. KG – Hydraulikzylinderwerk, Lohr am Main

Kurzfassung

An die Kolbenstangen von Hydraulikzylindern werden im Offshore-Einsatz besonders harte Anforderungen bezüglich ihrer Korrosionsbeständigkeit gestellt. Deshalb kommen verschiedene Schichtarten zum Einsatz, welche bei falscher Auswahl unterschiedliche Korrosionsschäden zeigen. Daher muss die Schichtauswahl nach einer umfassenden Bewertung der jeweiligen Einsatzbedingungen und natürlich auch nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten erfolgen. Die Eignung des ausgewählten Schichtsystems muss auf der Basis qualifizierender Tests sowie basierend auf Einsatzerfahrungen erfolgen. Mit einer „Guideline for qualification of wear and corrosion protective surface materials for piston rods and other components“ [1] wird sowohl dem Hersteller als auch dem Anwender eine gemeinsame Basis für die Einsatzspezifikation und den Eignungsnachweis in die Hand gegeben.



Dr.-Ing., MBA Ingo Rühlicke

Autorenprofil: [Author profile:](#)

www.thermal-spray-bulletin.info/?id=206705

I.Ruehlicke@hunger-hydraulik.de

Abstract

In offshore utilisation, particularly stringent requirements are set on the corrosion resistance of the piston rods of hydraulic cylinders. This leads to the use of various coat types which exhibit different corrosion damage in the event of incorrect selection. Therefore, the coats must be selected after a comprehensive assessment of the respective utilisation conditions and, of course, also according to economic aspects. The suitability of the selected coat system must be established on the basis of qualifying tests as well as utilisation experience. With a "Guideline for qualification of wear and corrosion protective surface materials for piston rods and other components" [1], not only the manufacturer but also the user are provided with a common basis for the utilisation specification and for the proof of the suitability.

1. Einleitung

Kolbenstangen werden als Kraft übertragendes Element in Hydraulikzylindern eingesetzt. Dabei muss die Kolbenstangenoberfläche einerseits ihrer Funktion als Gegenlaufpartner der Dicht- und Führungselemente im Hydraulikzylinder gerecht werden und in der Lage sein, unterschiedlichste statische und dynamische Lasten aufzunehmen. Andererseits muss die Kol-

benstangenbeschichtung auch einen ausreichenden Korrosions- und Verschleißschutz gewährleisten, welcher der jeweiligen Anwendung anzupassen ist. Insbesondere in maritimer Umgebung sind die Korrosionsschutzeigenschaften der Kolbenstangenbeschichtung von entscheidender Bedeutung, um eine ausreichende Lebensdauer des gesamten Systems zu gewährleisten.

1. Introduction

Piston rods are utilised as the force-transmitting element in hydraulic cylinders. On the one hand, the piston rod surface must perform its function as the contrarotating partner of the sealing and guiding elements in the hydraulic cylinder and must be able to bear the most diverse static and dynamic loads. On the other hand, the piston rod coating must also guarantee sufficient

corrosion and wear protection which must be adapted to the application in question. Especially in a maritime environment, decisive significance is attached to the corrosion protection properties of the piston rod coating in order to guarantee an adequate service life of the entire system.

2. Coat systems and their selection

Today, it is primarily electrodeposited nickel-chromium coats, thermally sprayed metal oxide and carbide coats as well as welded coats which are utilised in the offshore sector. Other processes, e.g. vapour deposition coatings, have not yet spread in hydraulic cylinder construction to any notable extent. The suitable coat is selected by the user or the hydraulic cylinder manufacturer. In this respect, previous utilisation experience and qualifying tests serve as the basis for decisions. Moreover, reference is often made to recommendations from independent institutions such as Germanischer Lloyd, DNV or ABS. One essential basis for the selection of the suitable piston rod coating is the uniform classification of the utilisation conditions. Fig. 1 gives an overview of the corrosion categories with reference to DIN EN ISO 12944-2.

Environment	Industrial atmosphere	Potable and fresh water	Brackish and saltwater		Marine atmosphere	
			Splash zone	Submerged	Open	Sheltered
Corrosivity	Very low to very high corrosivity	Low – Medium corrosivity	Very high corrosivity	High corrosivity	Very high corrosivity	High to very high corrosivity
Category ¹⁾	C1, C2, C3, C4, C5-I	Im1	C5-M / Im2	Im2	C5-M	C5-M
General description	Various industrial conditions	Rain water – treated water	Seawater (estuaries and coastal areas)	Seawater in the open oceans	Seawater salts and varying humidity levels	Local seawater salts and varying humidity levels
Salinity		1 - 300 ppm	2.5 - 3.5 ‰	2.5 - 3.5 ‰	2.5 - 7 ‰	2.5 - 15 ‰
pH		6 - 9	7.5 - 8.5	7.5 - 8.5	6-9	3-10
Temperature		1 - 30	-2 to 30	-2 to 30	-20 to 50	-20 to 50
Humidity, RH		-----	100 %	-----	30 - 100 %	10 - 100 %
Pollution		Low	Low	Low	Low to high	Low to high

¹⁾ Corrosivity categories acc to EN-ISO-12944-2



Bild 1: Zuweisung der Korrosionskategorien (Quelle: DNV, JIP Phase II Report)

Fig. 1: Assignment of the corrosion categories (source: DNV, JIP Phase II Report)

2. Schichtsysteme und ihre Auswahl

Heute werden im Offshore-Bereich vor allem galvanisch aufgetragene Nickel-Chromschichten, thermisch gespritzte Metalloxid- und Carbidschichten sowie geschweißte Schichten eingesetzt. Andere Verfahren, beispielsweise Vapour Deposition Coatings, haben bisher noch keine nennenswerte Verbreitung im Hydraulikzylinderbau gefunden. Die Auswahl der geeigneten Schicht erfolgt durch den Anwender oder den Hydraulikzylinderhersteller, wobei bisherige Einsatzverfahren und qualifizierende Tests als Entscheidungsgrundlage dienen. Hinzugezogen werden oft auch Empfehlungen von unabhängigen Institutionen wie Germanischer Lloyd, DNV oder ABS.

Eine wesentliche Grundlage für die Auswahl der geeigneten Kolbenstangenbeschichtung ist die einheitliche Klassifizierung der Einsatzbedingungen. Bild 1 gibt einen Überblick über die Korrosionskategorien in Anlehnung an DIN EN ISO 12944-2.

3. Einsatzverfahren mit Schichtsystemen im maritimen Einsatz

Einsatzverfahren mit Kolbenstangenbeschichtungen im maritimen Bereich basieren leider meist auf dem „TRY-AND-ERROR“-Prinzip, was viele Lieferanten-Kunden-Beziehungen auf eine harte Probe stellt. Selbst über lange Zeit bewährte Lösungen können durch sich verändernde Fertigungsbedingungen oder durch einen neuen Einsatzort der Ausrüstung plötzlich nicht mehr funktionieren. Oftmals sind den zuständigen Personen, die ja normalerweise Spezialist auf einem völlig anderen Gebiet als der Korrosion sind, die tatsächlich wirkenden Schadensmechanismen unbekannt.

Im maritimen Bereich lassen sich fünf wesentliche Ausfallursachen für Kolbenstangenbeschichtungen identifizieren:

- Unterrostung,
- Pitting-Bildung (Lochfraß),
- Spaltkorrosion,
- elektrochemische Korrosion und
- mechanisches Schichtversagen.

Während Unterrostung hauptsächlich Chrom und Nickel-Chromschichten sowie alle Spritzschichten betrifft, können die anderen Ausfallursachen alle Arten von Kolbenstangenbeschichtungen und auch unbeschichtete Kolbenstangen



Bild 2: Unterrostung einer Metalloxidbeschichtung; hier an der Südseite der Kolbenstange (Fotos: Hunger)
Fig. 2: Under-film rusting of a metal oxide coating; here on the south side of the piston rod (photographs: Hunger)

aus seewasserfesten Stählen betreffen. Die Unterrostung einer Metalloxidbeschichtung an einem Hydraulikzylinder, der in einem Brückenbauwerk für Servicezwecke eingesetzt wird, ist in Bild 2 gezeigt. Der Hydraulikzylinder wird nur einmal im Jahr benutzt; die Kolbenstange ist immer ausgefahren und der maritimen Atmosphäre ausgesetzt. Deutlich erkennbar ist die scharfe Grenze zwischen unterrostetem und noch intaktem Schichtbereich. Untersuchungen haben gezeigt, dass die unterrostete Seite die der Sonne zugewandten Südseite des Hydraulikzylinders ist. Als Ausfallursache wird hier ein Zusammenspiel aus dem Versagen des Siegels nach intensiver UV-Belastung und einer erhöhten Salzkonzentration auf der Schicht durch stärkere Erwärmung und Verdunstung angenommen. Bild 3 zeigt Pittings in der Nickel-

3. Utilisation experience with coat systems in maritime use

Unfortunately, utilisation experience with piston rod coatings in the maritime sector is mostly based on the "TRIAL AND ERROR" principle which puts many supplier-customer relationships to a severe test. Even solutions proven over a long time may suddenly no longer function properly due to changing fabrication conditions or due to a new utilisation location of the equipment. The people responsible who are indeed normally specialists in a field totally different from corrosion are often unaware of the actually effective damage mechanisms.

In the maritime sector, it is possible to identify five essential causes of the failure of piston rod coatings:

- under-film rusting
- pitting

- crevice corrosion
- electrochemical corrosion
- mechanical coat failure

While under-film rusting mainly affects chromium and nickel-chromium coats as well as all sprayed coats, the other causes of failure may affect all kinds of piston rod coatings and also uncoated piston rods made of sea-water-resistant steels.

Fig. 2 shows the under-film rusting of a metal oxide coating on a hydraulic cylinder which is utilised in a bridge structure for servicing purposes. The hydraulic cylinder is used only once per year; the piston rod is always extended and exposed to the maritime atmosphere. The sharp boundary between the coat region with under-film rusting and the still intact coat region is clearly unrecognisable. Investigations have shown that the side with under-



Bild 3: Pittingbildung an einer Nickel-Chrom-Beschichtung (Fotos: Hunger)
Fig. 3: Pitting on a nickel-chromium coating (photographs: Hunger)



Bild 4: Spaltkorrosion an einer Metalloxidbeschichtung (Fotos: Hunger)
Fig. 4: Crevice corrosion on a metal oxide coating (photographs: Hunger)

Chromschicht eines Hydraulikzylinders. Der Zylinder ist in der Passagierbrücke eines Fähranlegers eingebaut. Der dargestellte untere Bereich der Kolbenstange fährt praktisch nie in den Hydraulikzylinder ein und ist immer der maritime Atmosphäre ausgesetzt.

In Bild 4 sind die durch Spaltkorrosion zerstörten Bereiche in der Metalloxidschicht eines Offshore-Zylinders zu erkennen. Der Zylinder wurde für mehrere Wochen in einer Parkstellung gehalten, nachdem Seewasser in den Zylinder eingedrungen ist. Die Kontaktstellen der spaltbestimmenden Führungselemente im Zylinderkopf sind dabei gut zu erkennen.

Elektrochemische Korrosion tritt dann auf, wenn zwei Metalle mit unterschiedlichem Potential durch einen Elektrolyten, beispielsweise Salzwasser, verbunden sind. Das chemisch unedlere Metall wird sich durch Korrosion auflösen, während das chemisch edlere Metall nicht angegriffen wird.

Mechanisches Schichtversagen kann durch mechanische Einwirkungen auf die Schicht, durch Verschleiß oder durch eine zu hohe statische oder dynamische Spannungsbelastung hervorgerufen werden. Neben Materialabtrag, Kratzern und Deformationen sind vor allem Ablätzungen und Risse sehr kritisch, da sie fast immer zu einem kurzfristigen Versagen des Hydraulikzylinders führen. Während bei Schweißschichten vor allem Risse kritisch sind, da sie bei dynamischer Belastung in das Kolbenstangengrundmaterial hineinwachsen, können sich galvanisch aufgebraachte Schichten oder Spritzschichten bei

Überlastung eher vom Grundmaterial ablösen.

4. Testverfahren für Schichtsysteme im maritimen Einsatz

Die heute üblichen Testverfahren zur Bewertung von Kolbenstangen für den maritimen Einsatz wurden schrittweise an die sich verändernden Anforderungen angepasst. Zudem sind viele Erfahrungen der letzten Jahre in die Bewertungskriterien mit eingeflossen. Wurde beispielsweise vor zehn Jahren oft noch ein erfolgreich absolvierter Salzsprühtest über 1000 Stunden als alleiniger Korrosionsschutznachweis als ausreichend erachtet, wird er bei den heutigen Akzeptanzkriterien nur noch als Mindestvoraussetzung angesehen. Dennoch stehen selbst die heute geltenden Testverfahren nur als eine Empfehlung für Minimalanforderungen, die von der Kolbenstangenbeschichtung erfüllt werden sollten. Die Übertragbarkeit der Testergebnisse auf einen konkreten Einsatzfall ist nach wie vor schwierig und eine Garantie für den Erfolg oder Misserfolg einer Schichtauswahl lässt sich aus den Testergebnissen nicht direkt ableiten. Oftmals werden die einzuhaltenden Testergebnisse zwischen Lieferant und Kunde abgestimmt.

Zur Charakterisierung von Kolbenstangenbeschichtungen sind folgende Untersuchungen von Bedeutung:

- Schichtdesign (Metallografie, Porositätsanalyse, visuelle Bewertung),
- Haftung auf dem Substrat (Haftzugtests),

film rusting is the south side of the hydraulic cylinder facing the sun. Here, an interplay between the failure of the sealant after intensive UV loads and an increased salt concentration on the coat due to stronger heating and evaporation is assumed to be the cause of failure.

Fig. 3 shows pitting in the nickel-chromium coat of a hydraulic cylinder. The cylinder is installed in the passenger bridge of a ferry jetty. The portrayed lower region of the piston rod practically never moves into the hydraulic cylinder and is always exposed to the marine atmosphere.

The regions in the metal oxide coat of an offshore cylinder which are destroyed by crevice corrosion can be recognised on Fig. 4. The cylinder was kept in a parking position for several weeks after sea water had penetrated into the cylinder. In this respect, the contact points of the gap-determining guiding elements in the cylinder head are easy to recognise. Electrochemical corrosion arises whenever two metals with different potentials are connected by an electrolyte, e.g. salt water. The chemically baser metal will be disintegrated by corrosion while the chemically nobler metal is not attacked. Mechanical coat failure may be caused by mechanical effects on the coat, by wear or by excessive static or dynamic stress loads. Not only material removal, scratches and deformations but also, above all, flaking and cracks are very critical since they almost always lead to a short-term failure of the hydraulic cylinder. While it is primarily cracks which are critical in the case of welded

coats since they grow into the base material of the piston rod when this is subjected to dynamic loads, electrodeposited coats or sprayed coats may instead be detached from the base material in the event of overloading.

4. Test procedures for coat systems in maritime use

The test procedures customary today in order to assess piston rods for maritime use were adapted to the changing requirements step by step. Moreover, a lot of experience from recent years has also been incorporated into the assessment criteria. While a successfully completed salt spray test over 1,000 hours was, for example ten years ago, still often regarded as sufficient as the sole proof of corrosion protection, it is now viewed as only the minimum prerequisite in the case of today's acceptance criteria. Nevertheless, even the test procedures applicable today are only considered to be a recommendation for minimum criteria which should be satisfied by the piston rod coating. It is still difficult to transfer the test results to a concrete utilisation case and a guarantee for the success or failure of a coat selection cannot be directly derived from the test results. Often, the supplier and the customer reach agreement on the test results to be complied with.

In order to characterise piston rod coatings, significance is attached to the following investigations:

- coat design (metallography, porosity analysis and visual assessment)
- adhesion to the substrate (adhesive pull strength tests)
- mechanical properties (microhardness, bending test and wear test)
- corrosion resistance (e.g. salt spray test, saline droplet test, electrochemical porosity test and pitting corrosion test)

Since reference can still often be made to existing standards for the investigation of the coat design, the adhesion and the mechanical properties, only a few selected test procedures with regard to the corrosion resistance are to be dealt with below.

In Europe, salt spray tests are usually carried out according to DIN 50021 SS/ESS or according to DIN EN ISO 9227 and supply adequate results in the case of hard chromium, nickel-chromium and many sprayed coats, as shown on Fig.

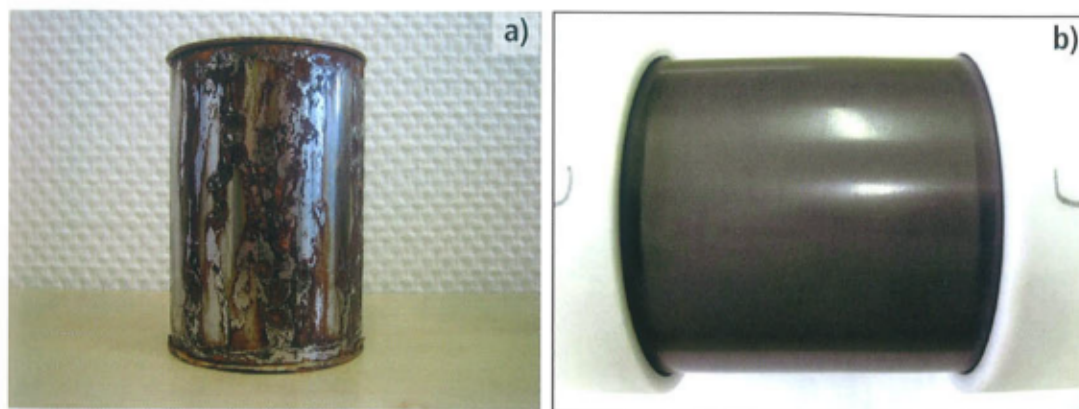


Bild 5: Prüfkörper nach dem Salzsprühtest: a) 50 µm Doppelverchromung nach 1.000 Stunden Salzsprühtest; b) Metalloxidbeschichtung Cr₂O₃/Ti₂O nach 1.500 Stunden Salzsprühtest (Fotos: Hunger)

Fig. 5: Test pieces after the salt spray test: a) 50 µm double chromium plating after 1,000 hours in the salt spray test; b) Cr₂O₃/Ti₂O metal oxide coating after 1,500 hours in the salt spray test (photographs: Hunger)

- mechanische Eigenschaften (Mikrohärte, Biegetest, Verschleißtest) und
- Korrosionsbeständigkeit (beispielsweise Salzsprühtest, Saline-Droplet-Test, elektrochemischer Porositätstest, Pitting-Corrosion-Test).

Da für die Untersuchung von Schichtdesign, Haftung und mechanischen Eigenschaften oftmals vorhandene Standards unverändert herangezogen werden können, soll im Folgenden nur auf einige ausgewählte Testverfahren bezüglich der Korrosionsbeständigkeit eingegangen werden.

Salzsprühtests werden in Europa üblicherweise nach DIN 50021 SS/ESS beziehungsweise nach DIN EN ISO 9227 durchgeführt und liefern hinreichende Ergebnisse bei Hartchrom, Nickel-Chrom und vielen Spritzschichten wie in Bild 5 gezeigt. Für Schweißschichten mit Eignung im maritimen Bereich liefern Salzsprühtests üblicherweise keine Ergebnisse. Mit dem Salzsprühtest lassen

sich Korrosion durch Unterwanderung der Schicht sowie eventuell Pittings in einer metallischen Schicht nachvollziehen. Bewertungskriterium ist hier die Testdauer in Verbindung mit dem Zustand der Schicht.

Der elektrochemische Porositätstest nach DNV-C2 Testmethode [1] dient der Untersuchung der Dichtigkeit von Kolbenstangenbeschichtungen. Der Test wird vor allem bei galvanisch erzeugten Schichten sowie bei thermischen Spritzschichten zur Ermittlung von Mikrorissen und von Porosität, welche die gesamte Schicht durchdringen, herangezogen. Auf die Beschichtung wird eine Prüfkammer aufgesetzt, in die künstliches Seewasser eingefüllt wird. Anschließend wird der Prüfling direkt kontaktiert; das Seewasser wird über eine Elektrode kontaktiert und eine definierte Potentialspannung angelegt. Zudem kann die Prüftemperatur vereinbart werden. Während des Versuchs wird die Stromdichte

5. For welded coats with suitability in the maritime sector, salt spray tests usually do not supply any results. With the salt spray test, it is possible to reconstruct any corrosion caused by the disbonding of the coat as well as any pitting which may be present in a metallic coat. Here, the assessment criterion is the test duration in conjunction with the condition of the coat.

The electrochemical porosity test according to the DNV-C2 test method [1] serves to investigate the leak tightness of piston rod coatings. Reference is made to the test, above all, for electrodeposited coats as well as for thermally sprayed coats in order to establish microcracks and porosity which penetrate the entire coat. A testing chamber into which artificial sea water is filled is placed on the coating. Thereafter, a contact is created to the test specimen directly and to the sea water via an electrode and a defined potential voltage is applied. Agreement

can be reached about the testing temperature as well. The current density is monitored during the test. Active disintegration or corrosion is assumed if the positive anode current exceeds the value of 1 µA/cm². However, as an alternative, the potential voltage can also be increased so far during the test until corrosion products become visible on the coat surface or until the coating is torn open, as shown on Fig. 6.

The pitting corrosion test according to DNV-C3, ASTM G48 Method A, [1], modified, serves to determine the pitting resistance of a metallic coat. This constitutes a very aggressive test procedure which already supplies results after 24 or 48 hours. In any case, it is difficult to directly transfer the test results to real offshore conditions. As portrayed on Fig. 7, a testing chamber into which 6 % FeCl₃ is filled is placed on the coating. The test specimen and the FeCl₃ solution are tempered to the

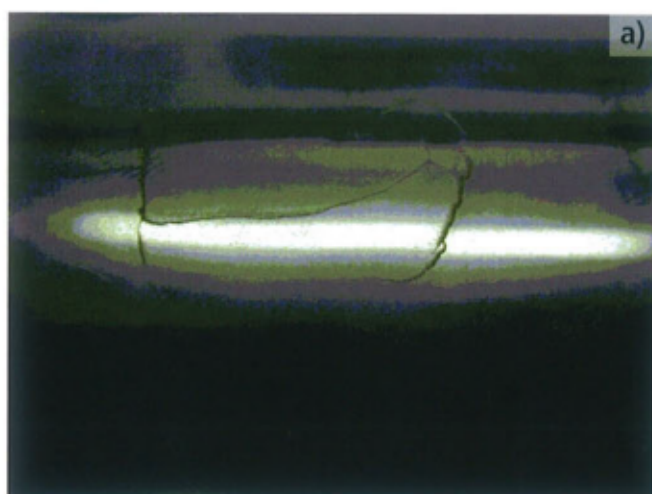


Bild 6: Verfahren und Prüfkörper zum elektrochemischen Porositätstest: a) Metalloxidbeschichtung nach elektrochemischem Porositätstest mit Erhöhung der Potentialspannung; b) Testaufbau elektrochemischer Porositätstest (Fotos: Hunger)

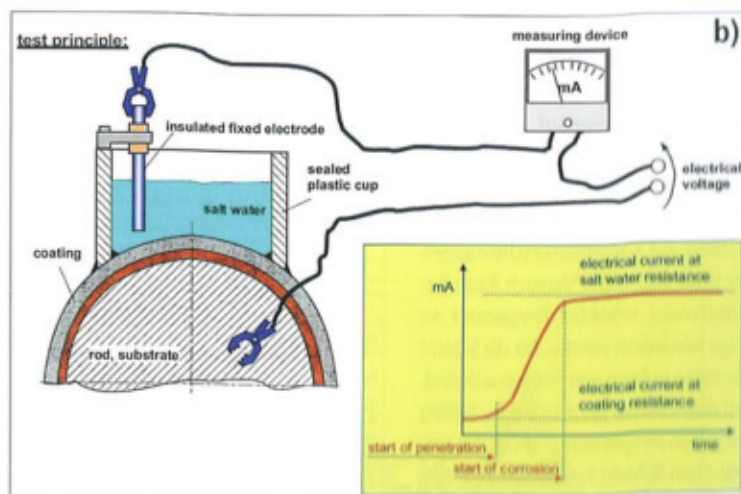


Fig. 6: Procedure and test piece for the electrochemical porosity test: a) metal oxide coating after the electrochemical porosity test with an increase in the potential voltage; b) test set-up for the electrochemical porosity test (photograph/diagram: Hunger)

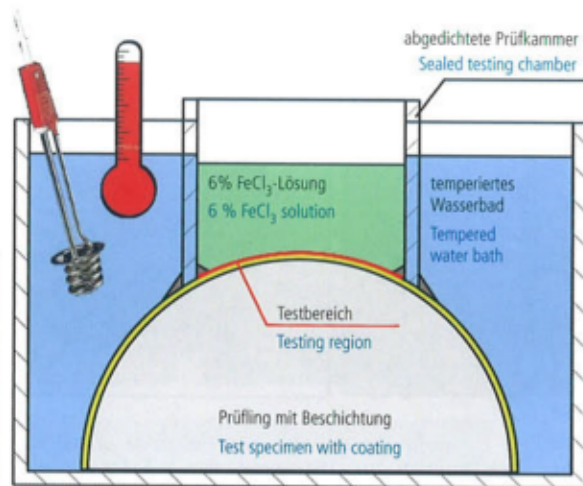
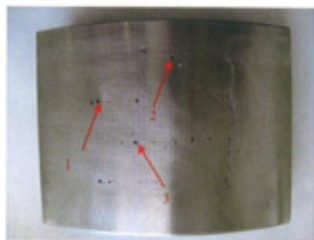
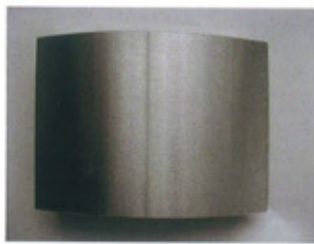


Bild 7: Verfahren und Prüfkörper zum ASTM G48-Methode A, modifiziert nach DNV, [1]: a) fehlerfreie Schicht nach dem Test (oben), ausgefallene Schicht mit Pittings (unten); b) Testaufbau Pitting Corrosion Test (Fotos: Hunger)

Fig. 7: Procedure and test pieces for ASTM G48 Method A, modified according to DNV, [1]: a) failed coat with pitting (bottom); b) test set-up for the pitting corrosion test (photographs/diagram: Hunger)

überwacht. Überschreitet der positive Anodenstrom den Wert von $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ so wird von einer aktiven Auflösung beziehungsweise Korrosion ausgegangen. Alternativ kann aber auch die Potentialspannung während des Versuchs so weit erhöht werden, bis Korrosionsprodukte an der Schichtoberfläche sichtbar werden oder bis die Beschichtung aufreißt, wie in Bild 6 gezeigt.

Der Pitting-Corrosion-Test nach DNV-C3, ASTM G48-Methode A, [1], modifiziert, dient der Bestimmung der Lochfraßbeständigkeit einer metallischen Schicht. Hierbei handelt es sich um ein sehr aggressives Testverfahren, welches bereits nach 24 oder 48 Stunden Ergebnisse liefert. Allerdings ist eine direkte Übertragung der Testergebnisse auf reale Offshore-Bedingungen schwierig. Auf die Beschichtung wird eine Prüfkammer, wie in Bild 7 dargestellt, aufgesetzt, in die 6%iges FeCl_3 eingefüllt wird. Der Prüfling und die FeCl_3 -Lösung werden durch ein umgebendes Wasserbad auf die spezifizierte Prüftemperatur temperiert. Nach Ablauf der Prüfzeit wird der Testbereich gereinigt und unter dem Mikroskop auf Korrosionserscheinungen hin untersucht. Der Versuch kann bei schrittweise erhöhter Temperatur so lange wiederholt werden, bis die Schicht Korrosion in Form von Pittings aufweist. Auf diese Weise lässt sich die „Pitting Corrosion Temperature“ (PCT) der metallischen Schicht bestimmen. Für den maritimen Bereich wird eine PCT von mindestens 35°C bis 40°C empfohlen, wobei die im Test ermittelte PCT jedoch nicht direkt auf die Einsatztemperaturgrenze bezogen werden kann.

5. Auswahl des geeigneten Schichtsystems

Basierend auf genauer Kenntnis der Einsatzbedingungen, angepassten Prüfmethoden sowie langjährigen Einsatz Erfahrungen kann eine zielgenaue Auswahl eines geeigneten Schichtsystems für die jeweilige Anwendung erfolgen. Es kann jedoch kaum ein Zylinderhersteller, Anlagenausrüster oder Endanwender alle diese Kriterien umfassend abdecken. Aus diesem Grund empfiehlt sich die Anwendung der im DNV-Report [1] erarbeiteten Richtlinien. Wie in Bild 8 beispielhaft für thermische Spritzschichten gezeigt, werden in dem Dokument Mindesttestanforderungen und Akzeptanzkriterien für alle gängigen Schichtsysteme aufgeführt. Ob und in welchem Maße die empfohlenen Kriterien eingehalten werden, ist zwischen dem Lieferanten und dem Kunden abzustimmen.

specified testing temperature by a surrounding water bath. When the testing time has elapsed, the testing region is cleaned and is investigated for corrosion phenomena under the microscope. The test can be repeated continuously at temperatures increased step by step until the coat exhibits corrosion in the form of pitting. The "pitting corrosion temperature" (PCT) of the metallic coat can be determined in this way. A PCT of min. $35 - 40^\circ\text{C}$ is recommended for the maritime sector. However, the PCT established in the test cannot be directly related to the utilisation temperature limit.

5. Selection of the suitable coat system

On the basis of exact knowledge of the utilisation conditions, adapted test methods as well as many years of utilisation experience, it is possible to make a precise selection of a suitable coat

system for the application in question. However, hardly any cylinder manufacturer, installation equipment supplier or end user can cover all these criteria comprehensively. For this reason, it is recommended to apply the guidelines elaborated in the DNV Report [1]. As Fig. 8 shows for thermally sprayed coats as an example, minimum testing requirements and acceptance criteria for all the common coat systems are listed in the document. The supplier and the customer must reach agreement on whether and to what extent the recommended criteria are complied with.

Literatur References

- [1] Guideline for qualification of wear and corrosion protective surface materials for piston rods and other components DNV Report No. 2009-3295, Rev.0, Mai 2009.

Part A	Minimum test requirements – Thermal spray coatings			
Test	Standard/procedure	Requirements/acceptance criteria Plasma / HVOF	PQT	Production
Metallography ¹⁾	EN ISO 14923 Microscopic examination	The microstructure shall be documented by micro and micrograph at relevant magnification	X	X ²⁾
Porosity content	EN ISO 14923 Microscopic examination	<=4% (Plasma) / 1% (HVOF)	X	X ²⁾
Oxide content	EN ISO 14923 Microscopic examination	<=4% (Plasma) / 1% (HVOF)	X	X ²⁾
Cracks	EN ISO 14923 Microscopic examination	No cracking at relevant magnification (e.g. 100 X)	X	X ²⁾
Chemical composition	ASTM A 751 - ASTM E 1508 or agreed method	As specified in MPS	X	X
Thickness	a) Metallography / EN ISO 2064:3882 (PQT) b) Dimensional measurements or see. to MPS (Production)	As specified in MPS	X (0)	X (0)
Hardness ²⁾	Vickers test, see to EN ISO 6507 or EN ISO 6508	Min load 0.3 kg; Min 500 HV (Plasma-Ceramic) 450 HV (HVOF-metallic) without cracking	X	X ²⁾
Bend test ²⁾	ASTM B571-97, ISO 5173 or similar mandrel test	90° (Plasma) / 180° (HVOF) without cracking or peeling i.e. no cracks at 4X magnification (edge effects must be considered)	X	X ²⁾
Tensile adhesive strength	EN 582 or ISO 14916	Min. 40MPa (Plasma), Min. 50 MPa (HVOF)	X	X
Resistance to rapid deformation (Drop test)	Acc. To DNV-MI in Annex B Reproducible results have to be achieved. Ball dia. 25 mm.	No cracking outside the impact area. Min energy 3 kJm at 0.5 m (Plasma) / 1.0 m (HVOF) drop height	X	X
Surface finishing	Visual inspection on 100% of surface area	No cracks, blisters, pits or discolouration	X	X
Surface roughness ¹⁾	ISO 4287-09	Ra ≤ 0.15-0.3 and Mr-by cut off ell: 40% ≥ 50%	X	X
Dimension	According to MPS	According to Purchase drawing	X	X
Curvature	According to MPS	Min 1 mm pr. m or max 3 mm total length of according Purchase drawings	X	X
Corrosion test	Environmental testing acc. to DNV-C1/C2 in Annex B	Acceptance criteria in Annex B	X	X
Repair of coating	Repair procedure to be established (RPQT) if applicable. See section 3.2.7	List requirements and acceptance criteria	X	X
1)	Test samples cut longitudinal from the rod			
2)	On test sample run prior to coating – i.e. sprayability test			

Bild 8: Empfehlung zu Mindesttestanforderungen für die Schichtspezifikation [1]

Fig. 8: Recommendation about minimum testing requirements for the coat specification [1]