

Kolbenstangenbeschichtung, Verfahren, Qualitätsbeurteilung & Trends

HYDROSAAR GmbH, Sulzbach

Die Fa. HYDROSAAR GmbH entwickelt Hydraulikzylinder, die im Bereich des Stahlwasserbaus eine wichtige Rolle spielen. Diese werden in allen Stahlwasserbauanlagen verwendet, z.B. als Schleusenzyylinder im gesamten Wasserstraßennetz, in Anlagen des Küstenschutzes, in Wasserkraftanlagen, in Staudämmen oder in landwirtschaftlichen Wasserbauanlagen.

Aufgrund der Relevanz für die Infrastruktur zu Wasser haben die Anlagen des Stahlwasserbaus eine große volkswirtschaftliche Bedeutung.

Wegen der Anforderungen an die Anlagen bezüglich Tragsicherheit und Funktionsfähigkeit, sowie den erheblichen Aufwendungen für die Erhaltung (Inspektion, Wartung und Instandsetzung) dieser Anlagen kommt dem Hydraulikzylinder eine besondere Wichtigkeit zu.

Man mag sich kaum vorstellen was passiert, wenn ein Zylinder, der die Hauptfunktionen der Anlagen durchführt, nicht funktioniert und z.B. ein Schiff in einer Schleuse festhängt oder ein Wehr zur Regulierung der Wasserhöhe oder Ströme nicht bewegt werden kann oder ein Kraftwerk keinen Strom liefert, weil der Zylinder versagt. Aus diesem Grund hat man den Zylindern ein Kapitel in der Stahlwasserbaunorm DIN 19704 gewidmet, in der die Erfahrungen der letzten Jahre in Richtlinien zusammengefasst wurden. Dadurch will man ein Versagen der Bauteile verhindern und eine möglichst lange Lebensdauer der Zylinder gewährleisten.

An Zylinder werden im Stahlwasserbau hohe Anforderungen gestellt, wie:

- eine sehr lange Lebensdauer (nicht selten werden Lebensdauern von 30 bis 50 Jahren gefordert)
- Einbau in freier Umgebung (dadurch sind Zylinder wechselnden Witterungs- und Temperaturbedingungen ausgesetzt)
- Kontakt mit Wasser (Meerwasser oder Flusswasser)
- Heben, Senken und Halten sehr großer Lasten über lange Zeiträume

Diese Rahmenbedingungen erfordern ein besonderes Augenmerk auf die Kolbenstange. Die Kolbenstange ist ein hochbeanspruchtes Bauteil im Gesamtsystem, da sie den kraftübertragenden Teil des Zylinders bildet. Zum einen hat sie die wichtige Funktion als Gegenlaufpartner zu den Dichtungen und Führungsbändern zu erfüllen, zum anderen muss sie über einen ausreichenden Korrosions- und Verschleißschutz verfügen, der die geforderte Lebensdauer sicherstellt. Besonders der Einsatz im nassfeuchten Bereich ist kritisch. Bei beschichteten Teilen liegt eine erhöhte Komplexität von Korrosionsvorgängen vor, da nicht nur eine Reaktion des Überzuges mit der Umgebung stattfindet, sondern es auch zu Wechselwirkungen sowohl an der Phasengrenze zwischen Sub-



Dipl.-Ing. Hans-Georg Burkart
Er studierte Maschinenbau an der Uni Kaiserslautern. Seit 15 Jahren ist er in verantwortlichen Positionen im Bereich Zylinderbau und begleitet seit 10 Jahren die Geschäftsleitung der Fa. HYDROSAAR. Seine Schwerpunkte liegen im Bereich Technologie, Entwicklung und Vertrieb.

strat und Beschichtung als auch bei porösen Schichten zwischen Grundwerkstoff und Medium kommt. Eine weitere Belastung sind die quer zur Kolbenstange angreifenden Kräfte, welche ebenfalls zu Schäden an der Beschichtung führen können. In den letzten Jahren wurden einige Fortschritte im Bereich der Beschichtungstechnik für Zylinderkolbenstangen gemacht. Deshalb möchte ich Ihnen in diesem Beitrag die aktuell verwendeten Verfahren vorstellen, sowie die daraus resultierenden Trends und insbesondere die Qualitätsbeurteilung näher bringen.

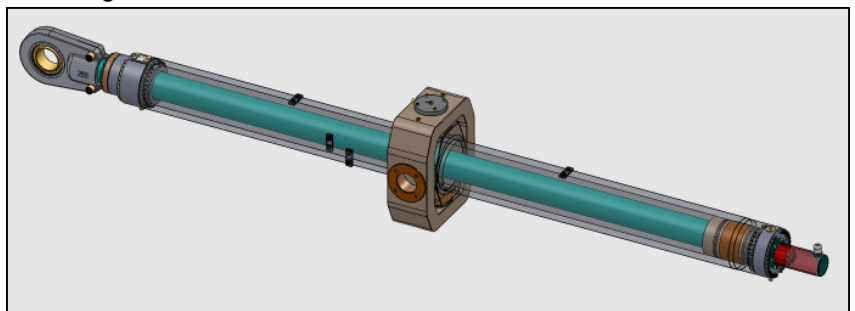
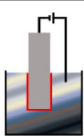
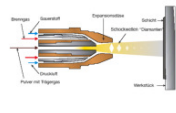
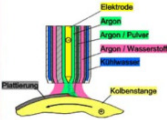


Abbildung: Beispiel eines Hydraulikzylinders

Beschichtungsverfahren

Für Kolbenstangen in korrosionsbegünstigenden Anwendungen kommen im Wesentlichen die in Tabelle 1 genannten Beschichtungsarten zum Einsatz.

Elektrochemische Schichten	Spritzschichten	Schweißschichten
		
- Galvanik	- Flamspritzen - HVOF - Plasmaspritzen	- PTA-Schweißen
- Hartchrom - Nickel / Chrom	- Metalle - Legierungen - Carbide - Keramiken	- Metalle - Legierungen

Tab. 1: Beschichtungsverfahren und ihre Anwendung

Dünnschichtverfahren, wie Gas-Nitro-Karborieren, Plasma-Nitro-Karborieren, sowie das sogenannte PVD (Physical Vapour Deposition), ein spezielles Gasphasen Beschichtungsverfahren, haben sich nicht durchsetzen können.

All diese Verfahren zeichnen sich dadurch aus, dass sie nur wenige Mikrometer dicke Schichten erzeugen, die in vielen anderen technischen Anwendungen, vor allem in der Automobilindustrie, große Erfolge feiern, sich aber im Hydrauliksektor und hier vor allem beim Beschichten von Kolbenstangen bisher nur in sehr vereinzelt Sonderanwendungen durchgesetzt haben.

Des Weiteren konnten sich auch Kunststoff-Spritzschichten, die in den letzten 15 Jahren hauptsächlich durch Anforderungen aus dem Bergbau entstanden sind, am Markt nicht etablieren. Bei diesen Verfahren werden Polymerbasiswerkstoffe auf die Kolbenstange aufgespritzt und anschließend durch Induktion oder in einem Ofen vernetzt, bzw. ausgehärtet. Mittels Einlagerung von unterschiedlichen Werkstoffen in die Polymermatrix können die Eigenschaften der Kunststoffbeschichtung beeinflusst werden.

Aufgrund von Problemen der mit diesen Verfahren beschichteten Kolbenstangen im Zusammenspiel mit den Dichtungs- und Führungselementen konnten sich diese nicht durchsetzen. Darüber hinaus weisen diese Schichten Defizite in der Haftfestigkeit auf.

Galvanotechnik

Die Galvanotechnik beschreibt das Abscheiden von metallischen Überzügen auf Oberflächen. In Hydraulikzylindern kommen Beschichtungen aus Hartchrom und Nickel / Chrom in Betracht. Galvanische Überzüge werden durch Elektrolyse in geeigneten Bädern (Säuren oder wässrigen Lösungen) der betreffenden Metallsalze erzeugt. Durch einen elektrischen Strom lösen sich dabei Metallionen aus dem Elektrolyten und lagert diese durch Reduktion auf der Oberfläche der Kolbenstange an. Die erzeugte Schichtdicke hängt von der Stromdichte und der Expositionszeit ab.

Üblich sind für die Beschichtung von Kolbenstangen Einfach-, Doppel-, oder Dreifach Hartchrom-Schichtsysteme oder Kombischichten aus

- Nickel + Chrom oder
- Bronze

Zur Zeit finden Bronzeschichten vermehrt Zuspruch am Markt. Im Wesentlichen wegen ihrer Korrosionsschutzeigenschaften und auch als galvanische Alternative zu Chrom. Chrombeschichtungen haben aufgrund der Diskussion um Chrom 6 und dessen Verbot an Ruf eingebüßt. Die Schichtstärken liegen in der Anwendung von Einzelschichtsystemen bei 25 bis 60 µm und bei Mehrschichtsystemen bei bis zu 150 µm.

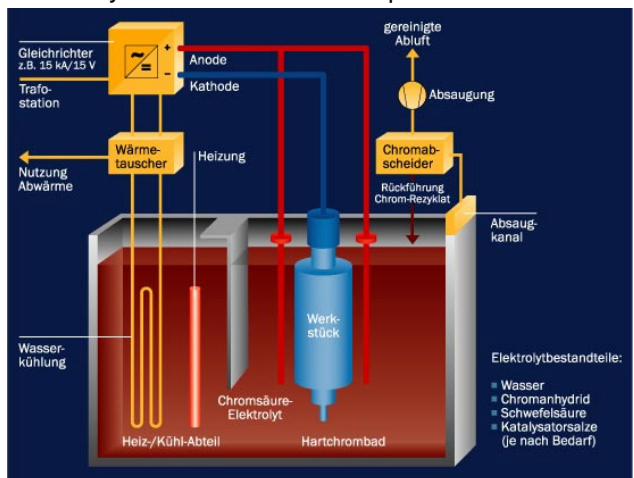


Bild 1: Typischer Aufbau einer Galvanik-Anlage

Da jedoch die Eigenschaften des Korrosionsschutzes von Hartchrom-Schichten wegen der Mikrorissigkeit der Schicht begrenzt ist, werden häufig Mehrschichten und Kombinationsschichten verwendet. Beim Prozess entsteht eine Chromhybridschicht, die nach dem Beschichtungsvorgang zerfällt, was zur Schrumpfung der Schicht führt. Dadurch entsteht eine Spannung im Überzug, die mikroskopisch kleine Risse zur Folge hat. Außerdem kann wegen der unterschiedlichen Stromstärke an Kanten und Einbuchtungen die Schichtdicke nicht ganz gleichmäßig ausfallen.

Wesentlich verbessert wird der Korrosionsschutz von Hartchrom-Schichten durch Kombinationen mit chemisch oder galvanisch abgeschiedenem Nickel. Die Nickel-Schicht dichtet direkt am

Grundmaterial ab, wird aber aufgrund ihrer geringen Härte mit einer Chrom-Schicht überzogen. Durch die Kombination beider Schichten nutzt man ihre individuellen positiven Eigenschaften. Den Nickel wegen seiner Dichte und Rissresistenz und den Chrom als Gleit- und Härteschicht.



Bild 2: Hartchrom mikrorissig

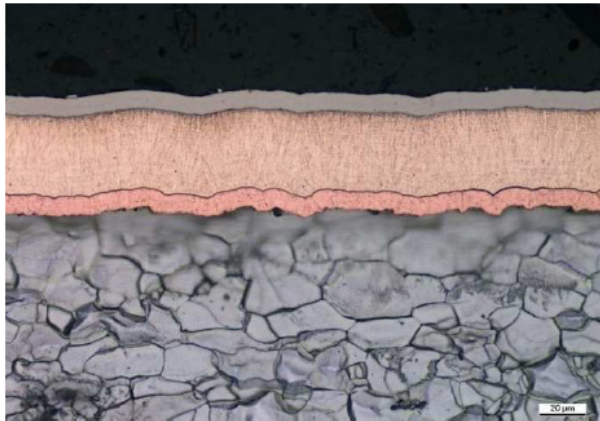


Bild 3: Bronzeschicht (HYB 35)

Diese Kombi-Schichten ermöglichen der Galvanik ein breites Anwendungsspektrum. Dennoch ist dieses Verfahren nicht für alle Anwendungen geeignet. So erreicht diese Schicht z.B. in Anwendungen in der chemischen Industrie, im Offshore-Bereich oder im Stahlwasserbau und vor allem auch dort, wo man mit salzhaltigen Belastungen rechnen muss, ihre Grenzen.

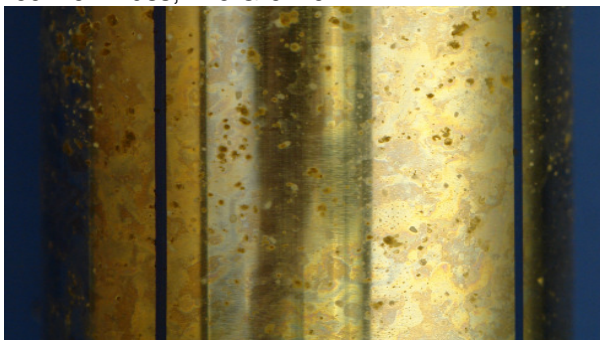


Bild 4: Lochfraß-Korrosion an einer Kolbenstange

Ursache dafür sind Chloride, die sehr häufig in unserer Umwelt, vor allem in der Nähe von Industrieanlagen, vorkommen und ganz massiv die Chromoberfläche angreifen und aktivieren. Diese

Aktivierung hat zur Folge, dass sich sogenannter Lochfraß (Pitting, siehe Bild 4) bildet, der zunächst kaum sichtbar ist, aber im Laufe der Zeit durch Abheben der Chromschicht zu Schädigungen der Dichtungs- und Führungselemente und somit letztendlich zu Leckagen führt.

Thermische Spritzverfahren

Thermisches Spritzen wird schon seit ca. 80 Jahren zur Verbesserung der Oberflächengüte bei technischen Produkten eingesetzt.

Die technologische Entwicklung begann mit einfachen Flammsspritzanlagen. Hier wurde zunächst das Pulver auf die Oberfläche aufgespritzt und im Nachgang mit einer Gasflamme eingeschmolzen. Dieses Verfahren bezeichnet man auch als Schmelzverbund-Verfahren. Aufgrund der hohen Wärmeeinbringung in die Kolbenstange kann sich diese verziehen, was einen weiteren Arbeitsschritt, das Richten, erforderlich macht. Im Laufe der Jahre wurden weitere Spritzverfahren entwickelt und verbessert. Es entstanden Plasma-, HVOF (High Velocity Oxygen Fuel) und Kaltgasspritz-Anlagen. Diese neu entwickelten Verfahren ermöglichen das Auftragen einer sehr breiten Werkstoffpalette mit denen sehr unterschiedliche Schichteigenschaften erzeugt werden können.

Im Bereich der Kolbenstangenbeschichtungen haben sich auf diesem Gebiet zwei Verfahren bewährt, auf die im weiteren Verlauf näher eingegangen wird. Dabei handelt es sich um das Plasmaspritzen und das Hochgeschwindigkeits-Flammsspritzen (HVOF).

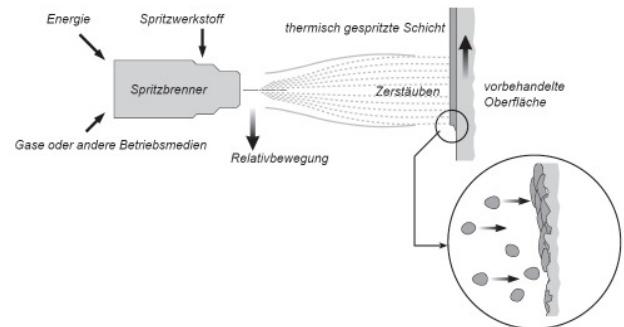


Bild 5: Prinzip einer modernen Flammsspritzanlage

Bei beiden Verfahren wird zum Aufbringen der Spritzschichten das Beschichtungsmaterial einer Spritzdüse zugeführt, aufgeschmolzen und durch Gasdruck auf das Werkstück aufgespritzt. Auf der Oberfläche erstarrt das Spritzmaterial und bildet die schützende Schicht. Das Beschichtungsmaterial kann draht- oder pulverförmig zugeführt werden. Die Oberfläche des Substrates (Grundmaterial) muss vor dem thermischen Spritzen von Verunreinigungen befreit und mit einem Strahlverfahren aufgeraut werden. Damit wird die freie Oberflächenenergie erhöht, die entscheidend für die Haftfestigkeit der Beschichtung ist. Die Partikel, die mit hoher Geschwindigkeit auf der Oberfläche

auftreffen, werden verformt und breiten sich wie „Pfannkuchen“ auf dem Substrat aus. Beim Abkühlen schrumpfen sie und verklammern sich mit den künstlich erzeugten Oberflächenunebenheiten des Grundmaterials. Die mechanische Verklammerung der Partikel ist somit der dominierende Haftungsmechanismus. In Bild 5 ist dieser Vorgang schematisch dargestellt.

Als Beschichtungsmaterial können grundsätzlich alle Werkstoffe verwendet werden, die sich ohne Zersetzung aufschmelzen lassen.

Die Wahl des richtigen Werkstoffes für den jeweiligen Anwendungsfall bedarf einerseits eines genauen Wissens über die auftretende Art der Beanspruchung, andererseits Kenntnisse über die verschiedenen Werkstoffe. Neben den physikalischen Eigenschaften, wie Ausdehnungskoeffizient, Dichte und Schmelzpunkt, haben weitere Faktoren, wie Kornform und Korngrößenverteilung, Einfluss auf die späteren Eigenschaften der Schicht.

Die meisten Spritzwerkstoffe liegen als Legierung oder Gemisch vor, was zu einer großen Anzahl an Kombinationsmöglichkeiten führt. Langjährige Erfahrung, breites Wissen und Know-How des Anwenders sind Voraussetzung für eine Eingrenzung der Möglichkeiten.

Das Prinzip des Plasmaspritzens wird im Folgenden erklärt: Zwischen einer Anode und einer Wolfram-Kathode wird mittels Hochfrequenz ein Lichtbogen gezündet. Das zwischen den Elektroden hindurchströmende Gas wird dabei ionisiert. Durch die hohe Geschwindigkeit des austretenden Gases entsteht ein mehrere Zentimeter langer Plasmastrahl. Bei den Gasen handelt es sich um Argon, Helium, Wasserstoff oder Gemische. Der Spritzwerkstoff wird von außerhalb in die Plasmaflamme injiziert und mittels des Plasmagases auf die Substratoberfläche geschleudert.

Plasmaspritzen

Das Plasmaspritzen ist ein Hochtemperaturverfahren. Mit diesem Verfahren können Beschichtungswerkstoffe aufgeschmolzen werden, die eine Schmelztemperatur von mehr als 3000 K aufweisen. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um Keramiken, wie ZrO_2 , TiC oder WC . Diese Beschichtungen bestehen meist aus zwei thermisch gespritzten Schichten unterschiedlicher Materialien. Es wird eine Primärschicht überwiegend auf Nickel-Chrom-Basis und eine Deckschicht aus TiO_2 - ZrO_2 oder Al_2O_3 aufgetragen.

Nach dem Spritzprozess wird häufig ein sogenannter Siegler aufgetragen. Das ist ein spezieller Lack, der in die mikroporöse Struktur der Beschichtung eindringt und dort aushärtet.

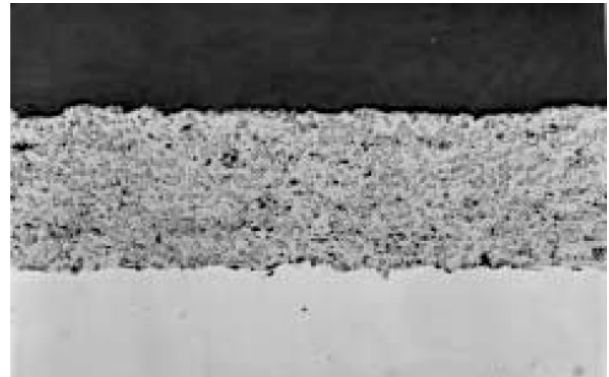


Bild 6: Mikroporöse Wolframcarbidschicht

Der Nachteil der plasmagespritzten Schichten liegt darin, dass bei hohen Temperaturen Spannungen zwischen Kolbenstange und Überzug entstehen, die bei Biegebeanspruchungen zu Rissen führen können. Risse bieten Angriffspunkte für Korrosion, was letztendlich zum Ausfall der Kolbenstange und somit des Zylinders führen kann. Daher ist eine sehr genaue Kenntnis des Prozesses und der Prozessführung notwendig, um die Oberflächenspannungen so gering wie möglich zu halten.

Dies ist auch ein Grund dafür, dass sich in den letzten Jahren das sogenannte Hochgeschwindigkeitsflammspritzverfahren im Bereich der Kolbenstangen mehr und mehr durchgesetzt hat.

HVOF (Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen)

Das HVOF gehört zu den neuesten Verfahren des thermischen Spritzens und ist im Vergleich zum konventionellen Flammspritzen durch ein mit Überschall austretenden Gasstrahl charakterisiert. Die erhöhte Aufprallgeschwindigkeit der Teilchen auf das Substrat hat verbesserte Schichteigenschaften zur Folge. Als Brenngase kommen hier neben Propan, Erdgas auch Flüssigbrennstoffe wie Kerosin zur Anwendung.

Anlage	Plasma	HVOF
Geschwindigkeit	400 m/s	700 m/s
Temperatur	16.000 K	3.000 K

Tab. 2: Vergleich der beiden thermischen Spritzverfahren

Schweißschichten

Das Auftragsschweißen (Cladding) ist ebenfalls ein altes und bekanntes Verfahren zur Oberflächenverbesserung zum Schutz vor Abrasion. Die am häufigsten verwendeten Schweißverfahren für Kolbenstangen sind das UP-Schweißverfahren sowie die in den letzten Jahren neu entwickelten Verfahren, wie das PTA (Plasma Transfer Arc) - Schweißverfahren und das Laserauftragsschweißen (Laser Cladding).

Ein großer Vorteil dieser Schweißverfahren ist, dass man auf sehr niederwertigen Grundmaterialien, wie beispielsweise den Baustählen S235 und S355, in Bezug auf Korrosions- und Abrasions-

beständigkeit sehr hochwertige Beschichtungsmaterialien, wie z.B. Stellite oder Edelstähle, aufbringen kann.

Der Schweißprozess soll anhand des PTA Prozesses kurz erläutert werden (Bild 7).

Zwischen einer Elektrode und einer Düse (Anode) wird ein sogenannter Pilotlichtbogen gezündet. Ein Trägergas, in der Regel Argon, wird dadurch ionisiert und bildet ein elektrisch leitendes Plasmagas. Nun kann zwischen der Elektrode und dem zu beschichtenden Bauteil ein übertragener Lichtbogen gebildet werden, der auf der Werkstückoberfläche ein Schmelzbad erzeugt. Der in das Plasma zugeführte metallische Beschichtungswerkstoff wird wie die Bauteiloberfläche aufgeschmolzen, sodass es zu einer metallurgischen

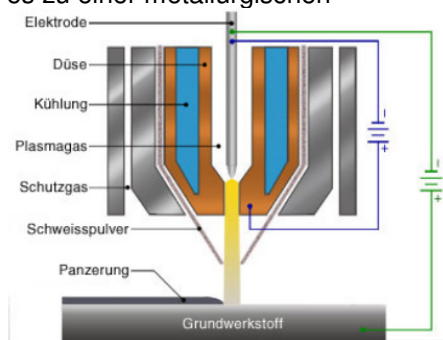


Bild 7: Prozess des PTA-Schweißens

Verbindung zwischen Substrat und Beschichtung bzw. Panzerung kommt.

Beim Laserauftragsschweißen entsteht die metallurgische Verbindung analog, indem ein Laserstrahl das Pulver und die Werkstückoberfläche aufschmilzt.

Beide Verfahren lassen sich gut automatisieren und besitzen damit eine hohe Reproduzierbarkeit. Im Gegensatz zu thermischen Spritzverfahren können oberflächliche Fehlstellen nachgearbeitet werden. Im Vergleich zu anderen Schweißverfahren, wie zum Beispiel dem WIG-, MAG- oder UP-Schweißen, ist die Aufmischung geringer. Lediglich 5% des Schmelzbades stammen aus dem Grundmaterial. Die metallurgischen Eigenschaften des Beschichtungswerkstoffes bleiben somit beim Auftragen fast vollständig erhalten.

Hauptmerkmale und Vorteile von Schweißschichten:

- hart und verschleißfest
- geringer Aufmischungsgrad und dadurch kompletter Erhalt der Eigenschaften der aufgespritzten Materialien
- vollkommen dicht
- widerstehen jedem Salzwasserangriff
- keine elektrochemischen Korrosionseffekte
- extrem hohe Haftung der Schicht (metallurgische Verbindung mit dem Grundmaterial)

- beste Verschleiß- und Korrosionseigenschaften

Es ist zu betonen, dass Kolbenstangen, die mit einem dieser Verfahren bearbeitet wurden, mit Abstand die besten Korrosions- und Abrasionsbeständigkeiten erreichen.

Nachteile dieser Verfahren sind hohe Investitions- und Bearbeitungskosten, sowie sehr lange Schweißzeiten aufgrund der kleinen Breite des Schweißguts von 3 bis 6 mm. Des Weiteren müssen die Kolbenstangen nach dem Schweißprozess spanend bearbeitet werden. Bei äußerst verschleißfesten Materialien ist diese Nachbearbeitung sehr aufwändig.

Schweißschichten sind um circa 30 bis 50% teurer als Schichten, die mit dem Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen aufgetragen werden. Aus diesem Grund werden diese Verfahren nur in High-End-Anwendungen eingesetzt, wie z.B. im Stahlwasserbau oder im Offshore-Bereich bei sehr langen Kolbenstangen, da diese Schichten den häufig auftretenden Biegebelastungen wegen ihrer Duktilität besser standhalten.

Qualitätsprüfung der Beschichtungen

Mit den zuvor beschriebenen Beschichtungsverfahren werden mittlerweile Korrosions- und Abrasionsbeständigkeiten erreicht, die weit über die Standards (1.000 bzw. 1.500 Stunden Salzsprüh-test nach DIN 9227) hinausgehen. Um eine objektive Beurteilung und Vergleichbarkeit dieser Schichten auf den unterschiedlichen Grundmaterialien, die für Kolbenstangen üblich sind, zu erhalten, mussten neue Methoden entwickelt bzw. alte Methoden angepasst werden. Aus diesem Grund haben wir in unserem Hause, gemeinsam mit der Fachhochschule Trier am Umweltcampus Birkenfeld, dem Lehrstuhl von Hrn. Prof. rer. nat. Trapp für Angewandte Werkstoffkunde, Messverfahren entwickelt, die speziell auf die Problematik bei Kolbenstangen zugeschnitten sind, sich aber auch weitgehend an den bekannten und in der Technik etablierten Prüfverfahren orientieren. Damit können wir die Beschichtungen eindeutig und anhand einfacher, klar definierter Kennwerte vergleichen.

Es kommen sechs Testverfahren zum Einsatz. Dazu zählen: (A) Abrasion, (B) Combined Corrosion, (C) Side Load, (D) Bending, (E) Adhesion und (F) Porosity Test.

(A) Der *Abrasion Test*, den wir auf Grundlage der Norm ASTM G65 entwickelt haben, befasst sich mit dem Verschleißverhalten der Kolbenstangenbeschichtung unter Bedingungen, wie sie an Gewässern vorzufinden sind. Der Test simuliert Seitenkräfte auf die Kolbenstange sowie den Ver-

schleiß durch Führungsbänder. Es wird immer das Führungsbänder eingesetzt, das dem Anwendungsfall der geprüften Kolbenstange entspricht. Hierbei wird der kolbenstangenförmige Prüfling in Rotation versetzt. Gleichzeitig wird ein Führungsbänder und danach ein Gummistück mit Härte nach Norm tangential zur Prüflingsoberfläche angelegt und mit einer definierten Kraft angepresst. Während des gesamten Drehprozesses wird über einen Trichter Sand auf die Reibungsfläche gestreut. Dabei wird der Sand mit einer Wasser- oder Salzwasserlösung besprüht.

Die gesamte Belastung wird über mehrere Tage in abrasive und korrosive Phasen aufgeteilt. Die Probe wird dabei in den belastungsfreien Zeiträumen durch einen neutralen Salzsprühnebeltest korrosiv angeregt. Nach jeder Phase findet eine Analyse mittels Digitalmikroskop statt, bei der die Beschichtung auf Risse und Korrosionsprodukte untersucht wird (Bild 8).

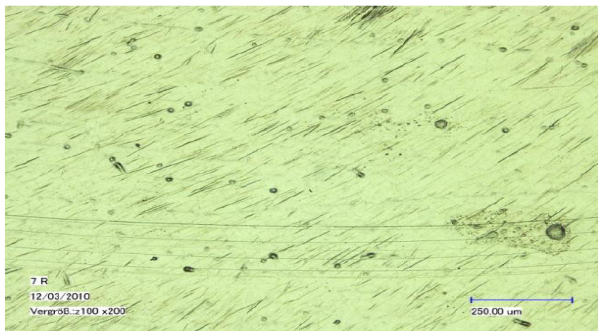


Bild 8: Abrasionsspuren unter einem Digitalmikroskop

(B) Im Anschluss an den *Abrasion Test* findet der *Combined Corrosion Test* mit der zuvor belasteten Probe statt. Hierbei wird die Probe durch einen mehrfach wiederholten Zyklus, der aus 3 Phasen besteht, belastet.

Die Phasen sind wie folgt definiert:

- Salzsprühnebeltest nach DIN 9227
- Wechsel zwischen Temperatur und Luftfeuchtigkeit
- Kondenswasser-Wechselklima nach DIN 6270-2

In ihrer Gesamtheit ergeben die Zyklen eine Dauer von 6 Tagen. Danach wird die Probe durch einen 1500stündigen Salzsprühnebeltest zur Korrosion angeregt. Insgesamt wird die Probe über einen Zeitraum von ungefähr anderthalb Monaten belastet.

Durch den Klimawechsel-Korrosionstest wird das Material gestresst, was die korrosive Belastung enorm steigert. Daher erhalten wir eine Belastung die einem Vielfachen eines neutralen Salzsprühnebeltests nach DIN 9227 entspricht. Die Kombination aus *Abrasion-* und *Combined Corrosion Test* bietet uns die Möglichkeit die abrasiven und korrosiven Belastungen realitätsnah abzubilden. Wir können so die unmittelbaren Einflüsse des Verschleißes auf die Korrosion sehen.

(C) Der *Side Load Test* unterzieht die Probe einer schwellende Dauerbelastung im elastischen Bereich. Die schwellende Belastung tritt in der Praxis am häufigsten auf und hat starken Einfluss auf die Beschichtung. Eine konstante Biegebelastung ermüdet das Material allmählich, eine schwellende Biegebelastung aber beschleunigt den Vorgang der Materialermüdung. (Bild 9)

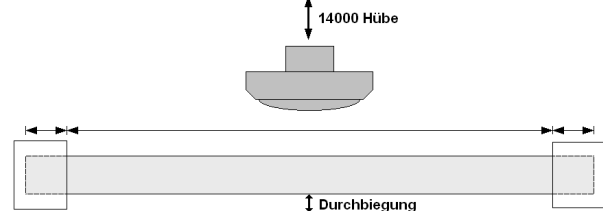


Bild 9: Side Load Test Versuchsaufbau

(D) Beim *Bending Test* wird die Kolbenstange Extrembelastungen unterzogen. In diesem Test wird der Prüfling bewusst bis zu einem gewissen Prozentsatz über den elastischen Bereich verbogen und somit zerstört. (Bild 10)

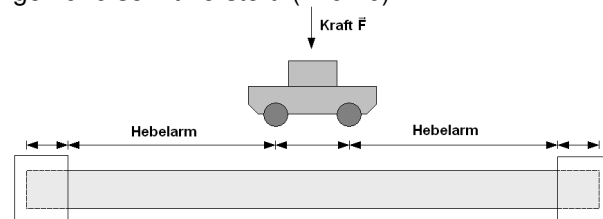


Bild 10: Bending Test Versuchsaufbau

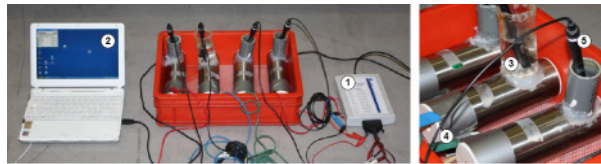
Mit beiden Tests erfassen wir die Resistenz der Kolbestangenbeschichtung gegen Risse oder andere Irregularitäten der Oberfläche. Im Anschluss an den Test werden die Proben unter einem Digitalmikroskop und einem Rasterelektronenmikroskop (REM) analysiert. K.O.-Kriterien sind zum Beispiel ein Abplatzen der Schicht oder Risse bis zum Grundmaterial.

(E) Im *Adhesion Test* wird die Haftfestigkeit der Beschichtung bestimmt. Auf die Beschichtung wird ein Prüfelement aufgeklebt. Nach dem Aushärten des Klebstoffs wird die Schicht mit einer Zugkraft beaufschlagt. Diese wird langsam erhöht entweder bis die Schicht abreißt oder der Kleber versagt. Die Haftung zwischen Beschichtung und Substrat kann somit quantitativ ermittelt und mit definierten Grenzwerten verglichen werden. (Bild 11)



Bild 11: Adhesionstester

(F) Im letzten Test, dem *Porosity Test*, der durch die Abnahmegesellschaft DNV (Det Norske Veritas) als Standard definiert ist, wird durch elektrochemische Vorgänge die Porosität des Überzuges ermittelt. Des Weiteren lässt sich das Aktivierungspotential, d.h. der Grad wie schnell und stark Korrosion entsteht, ermitteln. (Bild12)



Legende: 1 Data Logger; 2 Rechner; 3 NaCl-Lösung; 4 Stromanschluss; 5 Ag-Elektrode
Bild 12: Versuchsaufbau des Porosity Test

Dieser Test ist notwendig, da Poren mögliche Korrosionherde bieten und bei Belastung sogar das Grundmaterial freigelegt werden kann. Gleiches gilt für Mikrorisse, die sich mit diesem Testverfahren ebenfalls ermitteln lassen. Der *Porosity Test* wird überwiegend bei galvanisch aufgetragenen Schichten sowie bei Spritzschichten angewandt. Für Schweißschichten ist dieser Test in den meisten Fällen nicht sinnvoll, da diese eine sehr hohe Dichte und somit kaum Poren aufweisen.

Das Potential der Beschichtung wird über mehrere Tage hinweg beobachtet und aufgezeichnet.

Diagramm 1 zeigt eine Probe, die über die gesamte Prüfungsdauer ein konstantes Potential und somit kaum Poren aufwies.

Eine poröse Schicht ist in Diagramm 2 zu sehen, dort nimmt das Potential über die Testdauer stark ab.

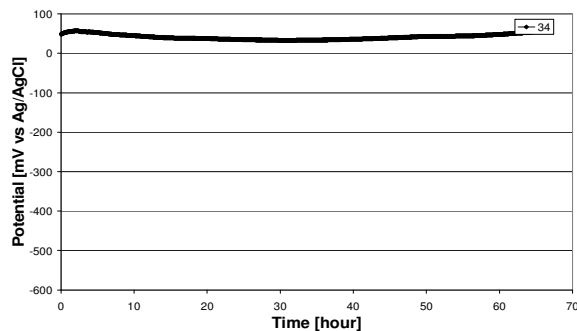


Diagramm 1: Beispiel einer guten Entwicklung

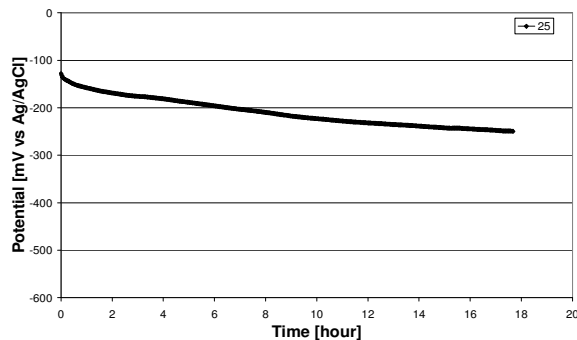


Diagramm 2: Beispiel einer schlechten Entwicklung

Die Resultate aller Tests werden in einer Matrix zusammengefasst und bieten so für die Vielzahl der Beschichtungen eine ideale Basis für die Auswahl der Beschichtung im jeweiligen speziellen Anwendungsfall.

Wir erhalten ein klares Bild über exakte und technische Daten, die Beschichtungen untereinander vergleichbar machen.

Die Beschichtung muss bestimmte Kriterien, die sich am Anwendungsfall orientieren, erfüllen und darüber hinaus definierte Grenzwerte nicht über- bzw. unterschreiten.

Zusammenfassung

Dieser Artikel sollte Ihnen aufzeigen, was heute im Bereich der Kolbenstangenbeschichtungen den „State-of-the-Art“ darstellt. In allen drei Bereichen Galvanik, Thermisches Spritzen und Schweißen werden permanent Entwicklungen vorangetrieben, um neue, noch bessere Lösungen am Markt anbieten zu können. Ein besonderes Augenmerk muss bei den High-End Beschichtungen in Zukunft auf die Kostenoptimierung gerichtet werden, um diese Produkte, die mittlerweile sehr hohe Korrosions- und Abrasionsbeständigkeiten erlauben, günstiger anbieten zu können. Dies wird einen nicht unerheblichen Einfluss darauf haben, welche Verfahren sich am Markt etablieren werden.

Eine weitere wichtige Rolle spielt auch die Beurteilung dieser hochwertigen Schichten. Hier müssen in den nächsten Jahren noch neue Standards festgelegt werden, die auch Einfluss auf die unterschiedlichsten Normen haben.

Ich hoffe, dass ich mit den von mir vorgestellten, selbst entwickelten Bewertungskriterien einen Beitrag zur objektiven Beurteilung der Vielzahl an Beschichtungsmöglichkeiten leisten konnte.