

# Hydraulikzylinder für jeden Einsatzfall

Die passende Kolbenstangenbeschichtung für alle Anforderungen



Hydraulikzylinder für Offshore Ölbohrplattform

ren, muss auch das Zusammenspiel von Dicht- und Führungselementen mit der jeweiligen Kolbenstangenoberfläche betrachtet werden. Hier sind einerseits die, durch das Bearbeitungsverfahren erzeugte Oberflächenstruktur und Oberflächenrauheit bedeutsam, es sind aber auch spezielle Adaptionen der Dicht- und Führungselemente an die Kolbenstangenoberflächen möglich, um ein optimales Betriebsverhalten und eine größtmögliche Verfügbarkeit der Hydraulikzylinder zu gewährleisten.

## 2 Übersicht Kolbenstangenbeschichtungen

Kolbenstangenbeschichtungen sollen die mechanischen Eigenschaften der Kolbenstange dahingehend verbessern, dass geringstmöglicher Verschleiß und optimale Betriebsbedingungen im Zusammenspiel mit den Dicht- und Führungselementen erreicht werden. Darüber hinaus muss das Kolbenstangenmaterial über der gesamten Einsatzdauer des Hydraulikzylinders zuverlässig vor Korrosion geschützt werden.

Die dafür entwickelte Vielzahl unterschiedlicher, herstellereinspezifischer Kolbenstangenbeschichtungen kann in vier Hauptgruppen eingeteilt werden. Diese sind galvanisch aufgetragene Beschichtungen, Kunststoffbeschichtungen, thermische Spritzschichten sowie durch Auftragschweißverfahren aufgetragene Beschichtungen. Nicht betrachtet werden dabei nitrocarburisierte und oxidierte Oberflächen sowie Dünnschichten, wie beispielsweise PVD-Schichten (Gasphasen-Beschichtungsverfahren), die nur wenige Mikrometer Schichtdicke erreichen und für viele technische Anwendungen eingesetzt werden [1]. Im Hydraulikzylindersektor sind PVD-Schichten bisher nur wenigen Sonderanwendungen vorbehalten.

In **Tabelle 1** sind heute verfügbare Beschichtungssysteme für Kolbenstangen, die ihnen zugrunde liegenden Verfahren, die wichtigsten Beschichtungsmaterialien sowie typische Einsatzgebiete aufgeführt.

## 3 Beschichtungssysteme

Obwohl die unterschiedlichen Beschichtungssysteme durch ihre spezifischen Eigenschaften in ganz bestimmten Anwen-

Ingo Rühlicke

**In diesem Beitrag werden verschiedene, heute eingesetzte Kolbenstangenbeschichtungen vorgestellt. Behandelt werden galvanische Beschichtungen, Kunststoffbeschichtungen, thermische Spritzschichten sowie Auftragschweißschichten. Neben den Herstellverfahren werden die jeweiligen spezifischen Schichteigenschaften, die Einsatzmöglichkeiten sowie das Betriebsverhalten näher erläutert.**

## 1 Einleitung

Über Jahrzehnte waren Hartchrombeschichtungen auf Kolbenstangen der Standard im Hydraulikzylinderbau und sie haben auch heute noch ihre Berechtigung. Jedoch führten Leistungsgrenzen der Hartchromschichten sowie ein gestiegenes Umweltbewusstsein zur Entwicklung neuer Oberflächentechnologien für Kolbenstangen von Hydraulikzylindern. Heute werden Hydraulikzylinder erfolgreich unter Umgebungseinflüssen eingesetzt, die noch vor einigen Jahren unüberwindbare Einsatzgrenzen darstellten oder nur eine sehr begrenzte Lebensdauer der Hydraulikzylinder zuließen.

Den Anwendern stehen Hydraulikzylinder mit hoch spezialisierten Kolbenstangenbeschichtungen zur Verfügung, die für jeden Einsatzfall die technisch und wirtschaftlich optimalste Lösung garantieren. Neben den klassischen Chrom- und Chromnickel-Schichten sind Kunststoffbeschichtungen, Spritzschichten sowie mittels Schweißverfahren aufgetragene Plattierungen verfügbar. Den Nachweis der Eignung für bestimmte Anwendungen müssen die Beschichtungen in umfangreichen Testprogrammen erbringen, welche neben allgemeinen Analysen immer mehr einsatzspezifische Untersuchungen enthalten. Zusätzlich zu den Anforderungen, die aus dem Einsatzfall der Hydraulikzylinder resultie-

**Autor:** Dr.-Ing. MBA I. Rühlicke ist technischer Leiter der Walter Hunger KG – Hydraulikzylinderwerk, Lohr am Main

dungen bzw. Branchen ihre Berechtigung haben, gibt es dennoch Überschneidungen, welche zum Wettbewerb der Schichten untereinander führen. Deshalb sollen deren Leistungsfähigkeit, die Einsatzgrenzen aber auch wirtschaftliche Aspekte näher dargestellt werden.

### 3.1 Galvanische Beschichtungen

Unter dem Begriff Galvanotechnik werden alle Verfahren zur Oberflächenbehandlung von Metallen zusammengefasst, die zur Herstellung metallischer Beschichtungen aus Elektrolyten, sowohl mit als auch ohne Verwendung von elektrischem Strom dienen. Verchromte Kolbenstangen werden auch heute noch in vielen Anwendungen als preiswerte Alternative mit guten Gleit- und Verschleißseigenschaften eingesetzt.

Mit Hartchromschichten kann eine Oberflächenhärte von 600 bis 1100 HV100 erreicht werden, wobei im Hydraulikzylinderbau Härten von 800 bis 950 HV100 üblich sind. Im Zusammenspiel mit modernen Kunststoff-Dicht- und Führungselementen wird somit ein gutes Verschleißverhalten garantiert. Die Korrosionsschutzeigenschaften von Hartchromschichten sind jedoch durch die mikroporöse bzw. mikrorisige Schichtstruktur begrenzt. Hier ist die Möglichkeit der Penetration der Chromschicht mit nachfolgender Unterwanderung und Korrosion des Grundmaterials gegeben. Eine mögliche Abhilfe sind Mehrschichtverchromungen, wie in **Bild 1** dargestellt, welche die Wahrscheinlichkeit durchgehender Risse durch die Gesamtschichtstärke deutlich vermindern können [2]. Auch rissfreie Chromoberflächen oder solche mit reibungsoptimierter Profilstruktur lassen sich herstellen, haben im Hydraulikzylinderbau bisher aber wenig Bedeutung erlangt [3].

Die Korrosionsschutzeigenschaften von Hartchromschichten können auch durch Kombination mit einer chemisch abgeschiedenen Nickelschicht, welche direkt auf das Grundmaterial aufgebracht ist, verbessert werden. Derartige Verbundschichten erweitern das Einsatzspektrum von Hartchrombeschichtungen. Für viele Anwendungen in der chemischen Industrie oder im Offshore-Bereich wird aber trotzdem nur eine begrenzte Lebensdauer erreicht. Ursache dafür ist die Aktivierung der ansonsten chemisch passiven, somit vor Eigenkorrosion geschützten, Chromoberfläche durch Chloride o.a. Substanzen. Als Folge bilden sich Pittings in der Chromschicht, die zuerst noch frei von brauner Korrosion des Grundmaterials sind aber bereits Dicht- und Führungselemente schädigen und somit zu Leckage führen. **Bild 2** zeigt verschiedene Stadien der Pittingbildung an einer Chrom-Nickel-Beschichtung.

Bezüglich Herstellung, Qualitätsprüfung und Einsatzrichtlinien von Chrom-Beschichtungen existieren verbindliche DIN-

Kolbenstangenbeschichtungen - Verfahren, Werkstoffe, Anwendungen			
galvanisch aufgetragene Beschichtungen	Kunststoffbeschichtungen	thermische Spritzschichten	geschweißte Schichten
- galvanische Verfahren	- Pulver- Spritzverfahren mit nachfolgender thermischer Vernetzung	- HVOF- Verfahren - Kaltgasspritzverfahren - Plasmaspritzverfahren	- UP- Schweißverfahren - P.T.A.- Plasma- Pulver- Schweißverfahren - Laser- Pulver- Schweißverfahren
- Hartchrom - Nickel - Bronze - Schichtkombinationen	- Duroplaste - Polymer- Basismatrix mit Einlagerungswerkstoffen	- Nichteisenmetalle - Metall- Oxide (Keramik) - Carbide - Schichtkombinationen	- Nickel basierte Edelstähle - Kobalt basierte Edelstähle - Bronzwerkstoffe
- allgemeine Maschinenbauanwendungen - Mobilhydraulik - Stahlwasserbau - Anlagenbau	- Bergbauanwendungen - Landwirtschaft - allgemeine Maschinenbauanwendungen	- allgemeine Maschinenbauanwendungen - Mobilhydraulik - Stahlwasserbau - Anlagenbau - Offshoreanwendungen	- Offshoreanwendungen - Küstenschutzanlagen - Hafenanlagen - Sonderanwendungen

Tabelle 1: Übersicht heute verfügbarer Kolbenstangenbeschichtungen

sowie branchenspezifische Normen, die in der entsprechenden Literatur nachgeschlagen werden können [4], [5].

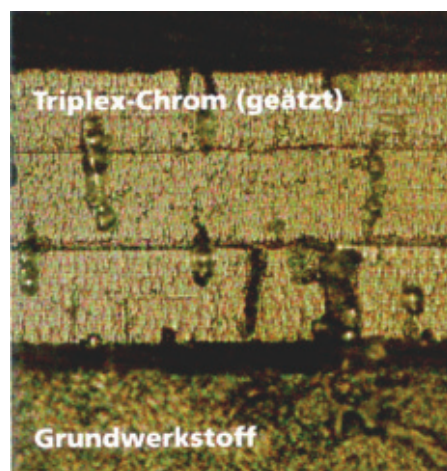
Einsatzgebiete für Hydraulikzylinder mit Chrom- und Chrom-Nickel-Beschichtungen finden sich im allgemeinen Maschinenbau, der Mobilhydraulik und auch noch im Stahlwasserbau. Vor allem für verschleiß- und korrosionskritische Anwendungen sowie bei höherwertigen Hydraulikzylindern werden Chromschichten immer mehr von thermischen Spritzschichten verdrängt. Neben deren höherem Nutzwert spielen aber auch Umweltaspekte sowie gesunkene Kosten alternativer Beschichtungen, insbesondere bei größeren Bauteilabmessungen, eine wichtige Rolle.

Neuere Entwicklungen in der Galvanotechnik befassen sich mit Dispersionschichten, bei denen die mechanischen und korrosionsschützenden Eigenschaften elektrochemisch abgeschiedener Beschichtungen durch Einlagerungstoffe verbessert werden. Weiterhin lassen sich Einlagerungen in strukturierte Schichtoberflächen einbringen, um deren tribologischen Eigenschaften positiv zu beeinflussen. Interessant für den Einsatz in Leichtbau-Hydraulikzylindern ist die Entwicklung von Hartchrom-Verbundschichten, welche auf gewickelten GFK- bzw. CFK-Kolbenstangen aufgebracht werden können [6].

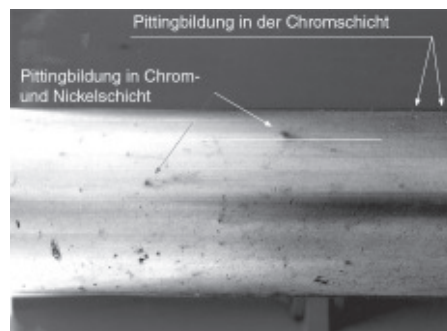
### 3.2 Kunststoffbeschichtungen

Die Entwicklung von Kunststoffbeschichtungen für Kolbenstangen von Hydraulikzylindern wurde wesentlich durch die Anforderungen im Bergbau geprägt. Hydraulische Grubenstempel zum Abstützen der Stollendecken beispielsweise sind kaum zyklischen Belastungen ausgesetzt. Die Oberflächen der Kolbenstangen müssen aber den extrem korrosiven Umgebungsbedingungen in einer Grube widerstehen

\*MPC®- Warenzeichen der Enthone OMI (Deutschland) GmbH



1: Mehrschichtverchromung (750-fache Vergrößerung [2])

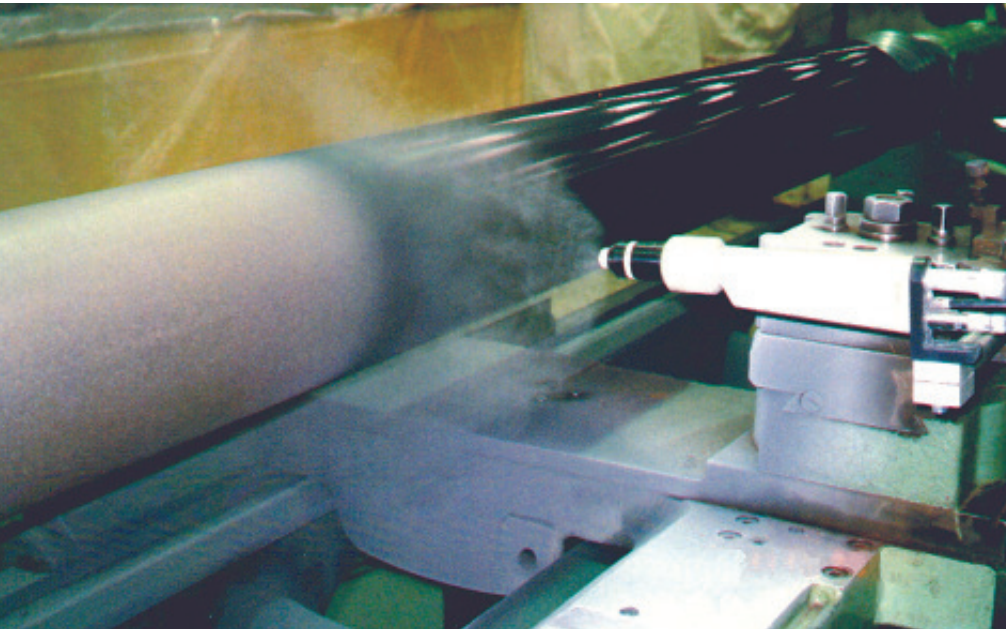


2: Chrom-Nickel-Beschichtung einer Kolbenstange mit Lochfraß, nach ca. 3 Jahren Einsatz im Seehafen

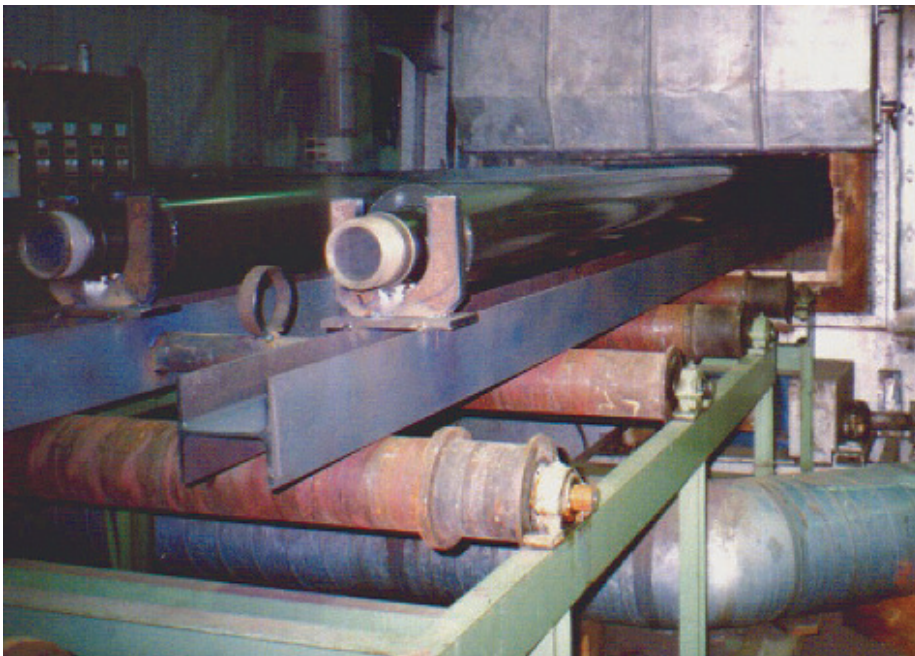
können. Auslegungskriterium für Kunststoffbeschichtungen sind deshalb Korrosionsbeständigkeit, chemische Beständigkeit sowie Schlagfestigkeit.

Eine dieser innovativen Oberflächentechniken ist die MPC®-Kunststoffbeschichtung\* [7], die aus einem Polymer-Basiswerkstoff (Matrix) sowie Einlagerungswerkstoffen besteht. Durch Variation der Einlagerungswerkstoffe können das Nutzungsverhalten der Kunststoffbeschichtung aber auch die Farbe gezielt beeinflusst werden. Für den Einsatz in Hydraulikzylindern





3: Aufsprühen des Pulvers



4: Thermische Vernetzung

dem wurde ein spezielles Schichtdesign entwickelt, dessen Vorteile eine hervorragende Korrosionsbeständigkeit, ein sehr gutes Reibverhalten im Zusammenhang mit speziellen Dicht- und Führungselementen, eine gute Schlagbeständigkeit sowie ein rissfreies Biegeverhalten sind. Korrosionsschutz besteht gegenüber Klar-, Brauch- und Grubenwasser sowie Mineralölen und Hydraulikemulsionen. Korrosionsschutznachweise sind erfolgreich im 1000 Stunden-Salzsäuresprühtest nach DIN 50021 und im 1500 Stunden-Essigsäuresalzsäuresprühtest nach DIN 50021 absolviert worden [7].

Kunststoffbeschichtungen werden im allgemeinen durch Aufsprühen des trockenen Kunststoffpulvers im elektrostatischen Feld und anschließendem thermischen Vernetzen aufgebracht. Die thermische Belastung

für das Grundmaterial ist bei Temperaturen von 180 °C vergleichsweise gering. **Bild 3** und **4** zeigen das Aufsprühen des Pulvers und dessen thermische Vernetzung in einem Ofen an Kolbenstangen mit 220 mm Durchmesser und ca. 8 m Länge. Mit den im Markt befindlichen Kunststoffbeschichtungen können alle wesentlichen metallischen Werkstoffe einschließlich ihrer Legierungen beschichtet werden. Es sind Schichtstärken von ca. 60 µm bis 1000 µm, abhängig vom Verfahren, vom Einsatzfall und der Geometrie des Grundmaterials herstellbar.

Legt man die heute üblichen Führungselemente zugrunde, dann ergibt sich für kunststoffbeschichtete Kolbenstangenoberflächen eine Kunststoff-Kunststoff-Reibpaarung. Das tribologische Verhalten sowie der Verschleiß dieser Werkstoffpaarung

machen eine spezielle Abstimmung der Kunststoffe erforderlich. Hierfür wurden Dicht- und Führungselemente entwickelt, die ihr reibungs- und verschleißarmes Betriebsverhalten in Dauerversuchen bereits unter Beweis gestellt haben. Die Kunststoffbeschichtungen zeigen aber auch einen neuen Ansatz in der Gestaltung von Führungselementen. Beispielsweise kann durch die Verwendung geeigneter Einlagerungswerkstoffe in der Kunststoffmatrix ein Trag- und Gleitverhalten erzeugt werden, welches dem von Kunststoff-Compound-Führungselementen gleichkommt. Damit kann die Kolbenstange direkt und ohne Führungsbänder auf der metallischen Oberfläche der Zylinderkopfbohrung geführt werden.

Einsatzgebiete für Hydraulikzylinder mit Kunststoffbeschichtungen sind überall dort, wo ein hoher Korrosionsschutz bei gleichzeitig geringen mechanischen Belastungen erforderlich ist. Neben Anwendungen im Bergbau ist der Einsatz in der Landwirtschaft bei saisonal eingesetzten Geräten, aber auch im allgemeinen Maschinenbau möglich.

### 3.3 Thermische Spritzschichten

Das thermische Spritzen von metallischen Werkstoffen, welche in Draht oder Pulverform zugeführt werden, wird seit etwa 100 Jahren zur Verbesserung der Oberflächenqualität technischer Produkte eingesetzt. Die technologische Entwicklung führte dabei von einfachen Flamm-Spritzanlagen zu modernen Plasma-, HVOF- (High Velocity Oxy Fuel-) und Kaltgas-Spritzanlagen. Die verschiedenen Verfahren ermöglichen das Auftragen einer breiten Werkstoffpalette und erzeugen bestimmte Schichteigenschaften. Seit Ende der 80er Jahre werden thermische Spritzschichten auch auf Kolbenstangen von Hydraulikzylindern aufgetragen, wodurch die Korrosionsschutzeigenschaften sowie das Verschleißverhalten der Hydraulikzylinder verbessert werden konnten. Thermisch gespritzte Kolbenstangenbeschichtungen sind hauptsächlich Metalloxidbeschichtungen von schwarzer Farbe, die umgangssprachlich auch als Keramik bezeichnet werden sowie chromfarbene Karbidbeschichtungen. Für wenige spezielle Einsatzfälle eignen sich auch metallische Beschichtungen, die meist auf Nickelbasis hergestellt werden.

#### 3.3.1 Metalloxidbeschichtungen

Metalloxidbeschichtungen bestehen aus zwei thermisch gespritzten Schichten unterschiedlicher Materialien. Auf eine Nickel-Chrom-Grundsicht wird eine Deckschicht aus Chromoxid-Titandioxid oder aus Aluminiumoxid-Titandioxid aufgetragen. Die Nickel-Chrom-Grundsicht verbindet die Stahloberfläche der Kolbenstange mit der Metalloxidschicht und dient als zusätzliche Korrosionsbarriere. Ein sehr dichtes Gefüge der metallischen Grundsicht

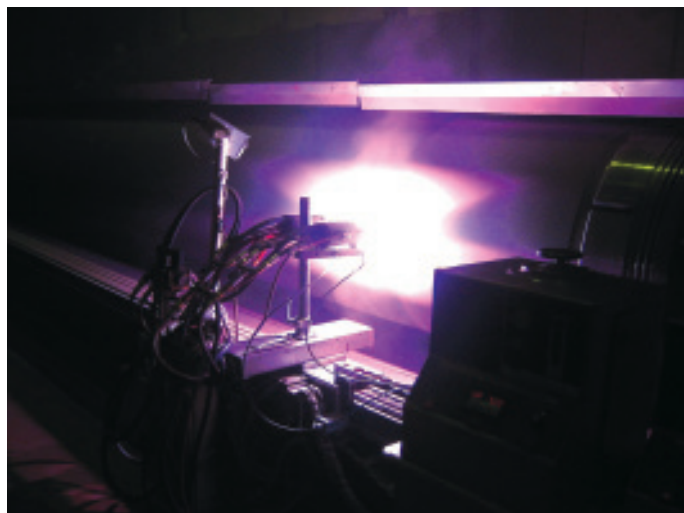


wird durch Verwendung des HVOF-Spritzverfahrens erreicht. Für die nur bei sehr hohen Temperaturen schmelzenden Metalloxide der Deckschicht kommt das Plasma-Spritzverfahren zum Einsatz. Bei beiden Verfahren wird in eine Flamme bzw. in ein Plasma das Spritzpulver injiziert, dort angeschmolzen und mit hoher Geschwindigkeit auf die Oberfläche der Kolbenstange geschleudert. Dort verbinden sich die Partikel mit der Oberfläche und bilden den Schichtaufbau. **Bild 5** zeigen das Spritzverfahren.

Nach dem Spritzprozess wird ein Siegel aufgetragen, welcher in die mikroporöse Struktur der Beschichtung eindringt und dort aushärtet. Anschließend erfolgt die Oberflächenbearbeitung durch Honen oder Schleifen. Metalloxidbeschichtungen ohne Versiegelung weisen einen geringeren Korrosionsschutz auf und können eine erhöhte äußere Leckage an der Kolbenstange zeigen. Ursache dafür ist Hydraulikfluid, welches im Hydraulikzylinder durch den Betriebsdruck in die mikroporöse Struktur der Beschichtung gepresst wird. Führt die Kolbenstange aus dem Druckraum heraus, dann entspannt sich das Hydraulikfluid und wird beim Zurückziehen der Kolbenstange vom Abstreifer abgestreift und als Leckage sichtbar.

Metalloxid-Beschichtungen werden meist aus Chromoxid-Titandioxid oder Aluminiumoxid-Titandioxid hergestellt. Sie weisen eine Härte von etwa 1000 HV auf und sind extrem widerstandsfähig gegen abrasiven Verschleiß. Korrosionsschutz besteht gegenüber Fluss- und Brauchwasser, allgemeinen Witterungseinflüssen, Industriemosphären, verdünnter Schwefel- oder Phosphorsäure, Ameisensäure, Essigsäure sowie Natronlauge. Zum Nachweis des Korrosionsschutzes wird mindestens der Salzsprühstest nach DIN 50021 SS bzw. ESS über 1000 Stunden herangezogen. Dieser muss ohne Korrosionsangriff bestanden werden.

#### 5: Plasma-Beschichtung



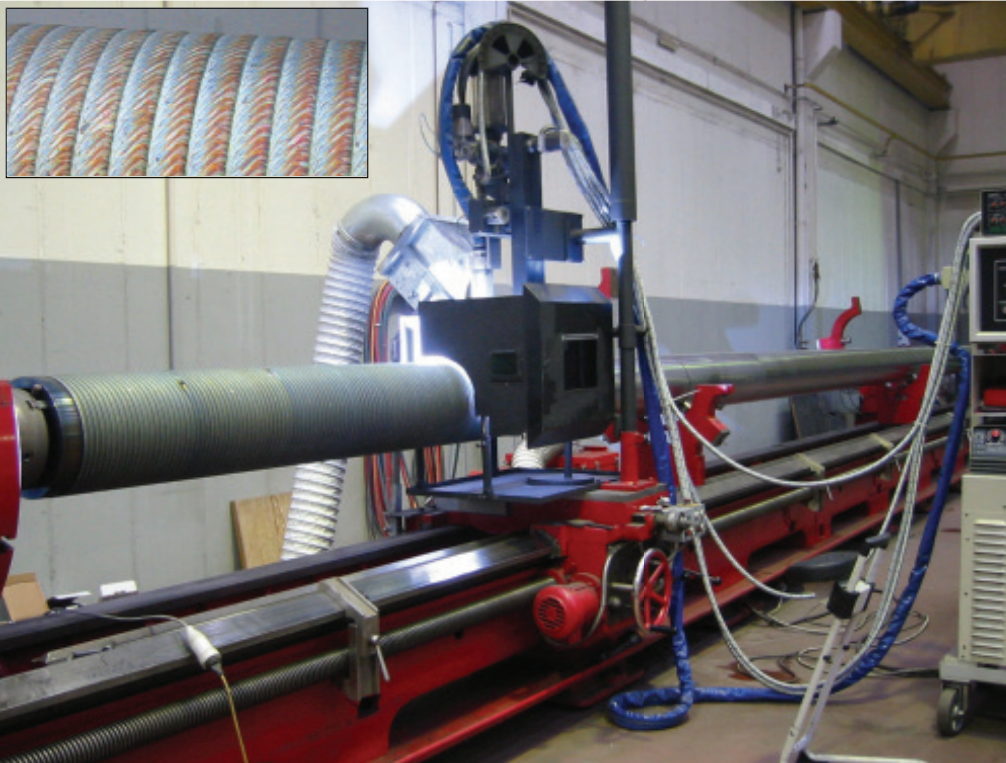
Da die Oberflächen von Metalloxidbeschichtungen eine Mikrostruktur aufweisen, welche sich aufgrund des Herstellungsverfahrens von denen der metallischen Oberflächen unterscheiden, ergibt sich auch ein anderes Gleit- und Verschleißverhalten an den Dicht- und Führungselementen im Zylinderkopf [8]. Die aus einzelnen, angeschmolzenen Partikeln aufgebaute Beschichtung kann, abhängig von den Betriebsbedingungen, einen erhöhten Abtrag an den Dichtkanten der Kolbenstangendichtung bewirken. Die Oberflächenbearbeitung ist entscheidend für die Lebensdauer der Dichtelemente, weshalb die Oberflächen der CERAPLATE 2000-Beschichtung auf eine Rauigkeit von  $Ra < 0,1 \mu\text{m}$  feinstbearbeitet werden. Beim Gleitverhalten, insbesondere bei geringen Geschwindigkeiten, zeigen Metalloxidbeschichtungen Vorteile im Vergleich zu metallischen Oberflächen. Stick-Slip-Verhalten ist kaum zu beobachten und selbst bei längerem Stillstand des Zylinders ist kein „Kleben“ der Dichtlippe auf der Kolbenstangenoberfläche zu befürchten. Ein wei-

terer Vorteil der Metalloxidbeschichtungen besteht in der Möglichkeit, kleinere Schäden zu reparieren. Insbesondere bei Großzylindern, wie in **Bild 6** dargestellt, können dadurch teure und aufwändige Neubeschichtungen vermieden werden. Auch für Zylinderinstandsetzungen bieten sich Metalloxidbeschichtungen an, da aufgrund der dickeren Schicht auch bei stark zerkratzten Chrom-Kolbenstangen der Originaldurchmesser wieder hergestellt werden kann.

Metalloxidbeschichtungen werden heute in fast allen Bereichen des Industrie- und Anlagenbaus, des Stahlwasserbaus sowie in Mobilanwendungen eingesetzt und haben sich zu einer Standardbeschichtung für Kolbenstangen von Hydraulikzylindern entwickelt. Durch die wachsende Zahl der Anwendungen sowie durch verbesserte Beschichtungs- und Bearbeitungsverfahren konnten in den letzten Jahren die Beschichtungskosten kontinuierlich gesenkt werden, was sich auch in der Erschließung weiterer Einsatzgebiete niederschlägt.



6: Montage eines Teleskopzylinders mit Ceraplate 2000 Beschichtung und 18 m Hub



7: P.T.A.-Auftragsschweißen an einer Kolbenstange

### 3.3.2 Karbidbeschichtungen

Karbidbeschichtungen bestehen aus nur einer thermisch gespritzten Schicht, die mit dem HVOF-Spritzverfahren direkt auf das Kolbenstangenmaterial aufgetragen wird. Zum Einsatz kommende Materialien im Hydraulikzylinderbau sind Chromkarbid, Nickel-Chrom oder Wolframkarbid. Im Vergleich zu Metalloxiden weisen die Karbidbeschichtungen eine höhere Härte und ein dichteres Gefüge auf. Durch das dichte Gefüge sowie die Korrosionsfestigkeit des Beschichtungsmaterials wird ein sehr hoher Korrosionsschutz auf der Kolbenstange erreicht.

Karbidbeschichtungen werden seit vielen Jahren im Flugzeugbau bei der Instandsetzung von Fahrwerksfederbeinen eingesetzt

[9]. Weitere Anwendungen sind Hydraulikzylinder, die durch extrem abrasive oder korrosive Medien belastet sind, wie beispielsweise in Aluminium- und Stahlwerken oder auch im Offshore-Bereich.

### 3.4 Auftragsschweißschichten

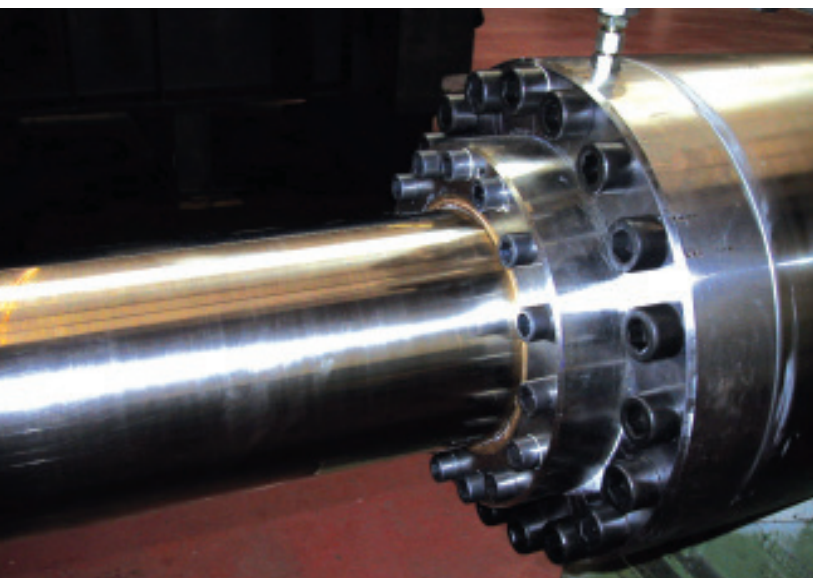
Das Auftragsschweißen oder Plattieren von technischen Bauteilen ist allgemein als Verschleißschutzmaßnahme bekannt. Dabei werden Hartschichten mit verschiedenen Schweißverfahren auf hoch beanspruchte Oberflächen aufgebracht [10]. Aber auch aus Korrosionsschutzgründen ist eine Auftragsschweißschicht sinnvoll, da sich so eine geschlossene, porenfreie Schicht mit stoffschlüssiger Verbindung

zum Grundmaterial herstellen lässt. Zum Auftragsschweißen werden alle elektrischen Schweißverfahren, insbesondere UP-Schweißverfahren, verwendet, wobei in den letzten Jahren noch das P.T.A.- (Plasma Transferred Arc-welding) und das Laser-Auftragsschweißen hinzugekommen sind [11].

Insbesondere das P.T.A.- und das Laser-Auftragsschweißen weisen technologische Vorteile auf, wodurch sie für das Auftragen von Korrosionsschutzschichten ideal geeignet sind. Dazu gehört vor allem die Möglichkeit, einlagige Schweißschichten mit einer sehr geringen Aufmischung des Grundmaterials in der Schmelze herzustellen. Ein geringer Eisenanteil in der Schweißschicht ist eine wesentliche Voraussetzung für deren Korrosionsfestigkeit. Wegen der hohen Investitionskosten für eine Laserquelle, mit der auch größere Bauteile beschichtet werden können, hat sich das Laserverfahren im Hydraulikzylinderbau bisher nicht durchgesetzt, zumal die erzielbaren Schichteigenschaften denen der P.T.A.-Beschichtung entsprechen.

Speziell für Hydraulikzylinder in Offshore-Anwendungen wurde die Hunger P.T.A.-Beschichtung entwickelt, welche die Kolbenstangen gegen die extrem korrosive Salzwasserumgebung schützt. Der Korrosionsschutz widersteht dem Salzwasserangriff und verhindert das Unterwandern der Schicht. Elektrochemische Korrosionseffekte werden durch konstruktive Maßnahmen wirkungsvoll unterdrückt. Weitere Vorteile dieser P.T.A.-Beschichtung sind eine extrem hohe Haftung auf dem Kolbenstangenmaterial, eine sehr hohe Temperaturbeständigkeit bis zu 800 °C sowie sehr gute Verschleißseigenschaften. **Bild 7** zeigt den P.T.A.-Auftragsschweißprozess an einer Kolbenstange, in **Bild 8** ist die fertig bearbeitete Oberfläche der Kolbenstange eines Offshore-Hydraulikzylinders zu sehen.

Die P.T.A.-Beschichtung kann auf einen Kohlenstoffstahl oder einen Edelstahl aufgebracht werden. Bei dem aufgeschweißten Material handelt es sich um einen Kobaltbasierten Edelstahl, dessen Eigenschaften durch Modifikation der chemischen Zusammensetzung dem Anwendungsfall angepasst wurde. Bei Temperaturen im Plasma von ca. 15000 °C werden das Schweißpulver und das Grundmaterial aufgeschmolzen und stoffschlüssig miteinander verbunden. Der Vorteil der hohen Temperatur liegt in einer vergleichsweise kleinen Schmelzzone und einer kurzen Temperatureinwirkzeit, was eine geringe Vermischung des Grundmaterials von nur 5 bis 10 % mit der Beschichtung ermöglicht. Für die erforderliche Verschleißfestigkeit sowie für geringe Reibung und eine Stick-Slip-freie Hubbewegung weist die P.T.A.-Beschichtung eine Härte von 43 HRC sowie eine gehobene und polierte Oberfläche mit einer Rauigkeit von  $Ra < 0,1 \mu\text{m}$  auf. Als Dichtelemente werden Nutringe oder Dachmanschetten empfohlen. Die Führungselemente sind speziell



8: P.T.A.-Kolbenstange bearbeitet

Bildnachweis: Hunger KG, Lohr



an die Schichteigenschaften angepasst und bestehen aus einem Kunststoff-Compound. Die Betriebseigenschaften eines solchen P.T.A.-Dicht- und Führungssystems sind mit denen auf einer hartverchromten Kolbenstangenoberfläche vergleichbar. Bezüglich der verwendeten Hydraulikfluide gibt es keine Einschränkungen durch die Beschichtung. Es ist möglich, lokale mechanische Beschädigungen auf der Baustelle zu reparieren.

#### English Summary:

#### A suitable Piston Rod Coating for Every Application

The paper shows different, presently used piston rod coatings for hydraulic cylinders. Galvanic layers, plastic coatings, thermal sprayed layers and welded layers will be introduced. Beside the coating processes the coating properties, possible applications and the operational behaviour are discussed.

Das Testprogramm zur Beschreibung der mechanischen Eigenschaften sowie der Korrosionsschutzeigenschaften der P.T.A.-Beschichtung ist nachhaltig durch den Einsatz in Offshore-Anwendungen geprägt. Dazu zählen chemische Analyse, metallografische Untersuchungen, Härte-, Schlagfestigkeits- und Biegeprüfung sowie elektrochemischer Porositätstest, Saline-Droplet-Test und Pitting-Corrosion-Test nach ASTM G48.

Die Einsatzgebiete für die P.T.A.-Beschichtung sind zur Zeit vor allem auf den Offshore-Bereich sowie auf Küstenschutz- und Hafenanlagen beschränkt. Weitere Einsatzgebiete außerhalb des Hydraulikzylindersektors sind derzeit Lochdorne und Dornstangen für die Stahl-Rohrfertigung nach dem Pilger-Verfahren, wo die hervorragenden Verschleißseigenschaften sowie die Hochtemperaturfestigkeit der P.T.A.-Beschichtung genutzt werden.

#### Literaturhinweise:

- [1] Frey, F.H. und Kienel, G.: *Dünnschichttechnologie*, VDI, Düsseldorf, 1987  
 [2] Hartchrom AG Steinach: *Informationsschrift*

- Oberflächenveredlung, Hartchrom, Firmendruck, 2002*  
 [3] Zollern GmbH Aulendorf: *Zollern- Duro 3, Informationsschrift Maschinenbauelemente, 2001*  
 [4] DIN 50960: *Galvanische und chemische Überzüge*, 1986  
 [5] Metzger, W. und DG Fachausschuss Forschung: *Einfluss des Grundwerkstoffs Stahl auf das Ergebnis galvanotechnischer Fertigung*, Deutsche Gesellschaft für Galvanotechnik e.V., Düsseldorf, 1981  
 [6] Hartchrom AG Steinach: *Informationsschrift Oberflächenveredlung, Hartchrombeschichtung von CFK/GFK- Grundwerkstoffen, Firmendruck, 2002*  
 [7] Horsthemke, H.: *Pulverlack mit erweiterten Funktionen, MO- Metalloberfläche, 09/1999*  
 [8] Nevoigt, A.: *Untersuchung der tribologischen Eigenschaften beschichteter Bauteile in Hydraulikzylindern und Axialkolbenmaschinen*, Dissertation RWTH Aachen, 2000  
 [9] Seitz, T.: *Replacement of Chrome Plating by Thermal Spray Coatings*, Lufthansa Technik AG - Product Engineering, August 1996  
 [10] Schreiber, F.: *Verschleißschutz durch Auftragschweißen, Schriftenreihe: Werkstoffe und werkstofftechnische Anwendungen, Band 7, Verlag Mainz, Aachen 2001*  
 [11] Bouaifi B. und Reichmann B.: *Neue Anwendungsfelder durch die Entwicklung des Hochleistungs- PTA-Auftragsschweißens, Schweißen und Schneiden 49, 1997*

Sonderdruck aus O+P „Zeitschrift für Fluidtechnik“ 48 (2004) Nr. 10

Überreicht durch

**Walter Hunger KG, 97803 Lohr am Main**  
**Tel.: 09352 / 501-0,**  
**Fax: 09352 / 501-106**  
**E-Mail: info@hunger-hydraulik.de**