

Neue korrosionsbeständige Hartmetallwerkstoffe für Hartchrom-Ersatz und industrielle Anwendungen

New corrosion resistant carbide materials for hard chrome replacement and industrial applications

Jonathan Gutleber, Oerlikon Metco (US), Dr. Petr Fiala, Oerlikon Metco (Canada), Ville Eronen, Oerlikon Metco Europe GmbH

Kurzfassung

Neu entwickelte Beschichtungsmaterialien auf der Basis von Wolfram- und Chromkarbid-Hartphasen in einer korrosionsbeständigen Nickel-Kupfer-Legierungsmatrix, „Metco 5580A“ und „Metco 5280A“, wurden entwickelt und für das Hochgeschwindigkeits-Flammspritzschichten (HVOF) optimiert. Diese Materialien sind für den Einsatz in Umgebungen mit hohem Chloridgehalt konzipiert und weisen eine erhöhte Duktilität zur Verbesserung der Riss- und Schlagfestigkeit auf. Die Eigenschaften und Performance dieser neuen Beschichtungen werden vorgestellt und mit konventionellen Wolframkarbid-Kobalt-Chrom-basierten Beschichtungen verglichen.



Jonathan Gutleber

Autorenprofil: [Author profile:](#)

www.thermal-spray-bulletin.info/?id=900008
jonathan.gutleber@oerlikon.com



Dr. Petr Fiala

Autorenprofil: [Author profile:](#)

www.thermal-spray-bulletin.info/?id=202620
petr.fiala@oerlikon.com



Ville Eronen

Autorenprofil: [Author profile:](#)

www.thermal-spray-bulletin.info/?id=900009
ville.eronen@oerlikon.com

Abstract

Newly designed coating materials based on tungsten and chrome carbide hard phases in a corrosion resistant nickel-copper alloy matrix, “Metco 5580A” and “Metco 5280A”, have been developed and characterized as high velocity oxy-fuel (HVOF) sprayed coatings. These materials are designed to perform in high chloride environments as well as demonstrate increased ductility for crack and impact resistance. Properties and performance of these new coatings are presented and compared to conventional tungsten carbide cobalt chrome-based coatings.

1. Einleitung

Der Ersatz von Hartverchromungen ist aufgrund zunehmender Umweltauflagen seit vielen Jahren eine Anwendung von HVOF-Verfahren [1, 2]. Typische Materialien, die für diese Anwendungen verwendet werden, sind entweder Wolfram- oder Chrom-basierte Karbide in einer kobalt- oder nickelbasierten Matrix [1, 2]. Während diese Beschichtungen eine ausgezeichnete Verschleißfestigkeit aufweisen, verfügen sie oft nicht über die anderen notwendigen Eigenschaften für anspruchsvolle industrielle Anwendungen wie Duktilität, Schlagbeständigkeit, leichte Reparierbarkeit oder Korrosionsbeständigkeit. Ein Beispiel für eine solche anspruchsvolle Anwendung sind Rotoren in Spülpumpen, die unter hochchloridhaltigen Bedingungen in Bohrlöchern eingesetzt werden. Das Hauptproblem für Bohrohrbezüge hinsichtlich der Korrosion sind die

Rissbildung durch Umwelteinflüsse und die Bildung von gleichmäßigen oder lokalisierten Korrosionsflecken [3]. Mud-Rotoren in Bohrgestängen leiden häufig unter Lochfraßkorrosion, die durch das Eindringen des korrosiven Mediums durch die Risse in der Beschichtung ausgelöst wird, Bild 1.

Die Zugänge für korrosive Medien werden durch Korrosion des Beschichtungsmaterials selbst oder durch Mikrorisse, die durch Biege- oder Handhabungsschäden verursacht werden, geöffnet. Diese löchrigen Bereiche müssen während der Rotoraufarbeitung vor der Neubeschichtung durch Punktschweißen repariert werden. Dieser Reparaturprozess ist zeitaufwendig und erhöht die Kosten für die Aufarbeitung der Komponente erheblich.

HVOF-gespritzte Wolframkarbid-Kobalt-Chrom (WCCoCr)-Beschichtungen werden in diesen Anwendungen

1. Introduction

Replacement of hard chrome plating has been an application of high velocity thermal spray processes for many years due to increasing environmental regulations [1, 2]. The primary materials used for these applications are either tungsten or chromium-based carbides in a cobalt or nickel-based matrix [1, 2]. While these coatings exhibit excellent wear resistance, they often do not have the other necessary properties for demanding industrial applications, such as ductility, resistance to external impacts, easy reparability or corrosion resistance. One example of such a demanding application are mud motor rotors in high-chloride downhole drilling conditions. The primary concern for downhole tubulars from the corrosion aspect are environmental cracking and forming of uniform or localized corrosion spots [3]. Mud rotors

in downhole drill strings often suffer from pitting corrosion initiated by penetration of the corrosive medium through the cracks of the coating, Fig. 1.

The pathways are opened by corrosion of the coating material itself or microcracking caused by flexure or handling damage. These pitted areas must be spot repaired by welding during the rotor refurbishment process prior to recoating. This repair process is time consuming and adds significant cost to the component refurbishment.

The target was to design materials with improved corrosion properties but with differing degrees of wear resistance and cost of application. Two materials based on WC and Cr₃C₂ hard phases in a nickel copper alloy matrix were developed in order to improve the coating corrosion resistance. This matrix alloy is designed to improve performance in

gen zum Ersatz von Hartverchromung häufig eingesetzt. Ein Nachteil von WCCoCr-Beschichtungen, abgesehen von den höheren Kosten, ist ihre geringere Duktilität. So sind beispielsweise Rotoren von Spülpumpen aufgrund ihrer Länge (10 m) und ihres kleinen Durchmessers besonders anfällig für Risse und Handhabungsschäden, die beim Anheben und Transport zu Verformungen führen.

Ziel war es, Werkstoffe mit verbesserten Korrosionseigenschaften, aber mit unterschiedlichem Verschleißverhalten und Anwendungskosten zu entwickeln. Zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit der Beschichtung wurden zwei Werkstoffe auf Basis von WC- und Cr_3C_2 -Hartphasen in einer Nickel-Kupfer-Legierungsmatrix entwickelt. Diese Matrixlegierung soll das Verhalten in chloridhaltigen Umgebungen verbessern sowie eine erhöhte Duktilität für Riss- und Schlagfestigkeit aufweisen. Die neu entwickelten Werkstoffe „Metco 5580A“ und „Metco 5280A“ beheben die Defizite sowohl von Hartverchromungen als auch von WCCoCr-Beschichtungen, indem sie eine verbesserte Korrosionsbeständigkeit in hochchloridhaltigen Umgebungen und eine bessere Schlagfestigkeit als WCCoCr-Beschichtungen bieten. Sie bieten auch die Möglichkeit zur lokalen Reparatur, das heißt eine Beschichtungsreparatur ohne die Notwendigkeit des Entschichtens im Falle einer lokalen Beschädigung.

2. Experimentelles

2.1. Materialien und Methoden

Die geplanten chemischen Zusammensetzungen waren WC-21 Cr_3C_2 -30NiCu für „Metco 5580A“ und Cr_3C_2 -30NiCu für „Metco 5280A“. Die Pulver wurden durch Agglomerieren und anschließendes Sintern hergestellt und auf die Partikelgrößen von $-45+15$ und $-45+20$ μm abgesiebt. Zur Herstellung der Beschichtungen auf Rund- und Flachproben wurde ein kommerzielles Kerosin- HVOF-Spritzsystem, UniCoatPro-LF mit WOKA-Jet-410-Brenner von Oerlikon Metco, verwendet. Die Substrate für die Metallografieuntersuchungen waren aus unlegiertem Stahl.



Bild 1: Bohrstrang-Spülungsrotor mit Lochfraßkorrosion (links) und nach der Reparatur durch Punktschweißen während der Aufarbeitung (rechts)

Fig. 1: Drill string mud rotor showing pitting corrosion (left) and after spot welding repair during refurbishment (right)

2.2. Prüfung und Charakterisierung

Die Beschichtungen wurden anhand von polierten Querschnitten zur Gefügeuntersuchung, Vickers HV0.3 Mikrohärtigkeit (ASTM E384-17) und Porosität (ASTM E2109-01) charakterisiert. Die Oberflächenrauigkeit (Ra) und die Haftzugfestigkeit (ASTM C633-13) wurden an unbehandelten Beschichtungsflächen gemessen. Zusätzlich wurden die Beschichtungen auf ihre Verschleiß-eigenschaften unter Abrasion (ASTM G65-16 Procedure A), Kavitationserosion (ASTM G32-16), Schlagprüfung und elektrochemischer Korrosion getestet.

Die Schlagprüfung wurde mit einer gesinterten WC-Co-Kugel mit einem Durchmesser von 30 mm (211 g) durchgeführt, die aus einer Höhe von 2 Metern fallen gelassen wurde, was einer Energie von 4,14 Joule pro Fall entspricht. Die Kugel wurde wiederholt auf denselben Bereich fallen gelassen, bis eine sichtbare Beschädigung der Haftung der Beschichtungsschicht beobachtet wurde. An diesem Punkt wurde der Test beendet oder wenn die maximale Anzahl von 50 Stößen ohne Versagen erreicht wurde.

Die Proben für die elektrochemische Korrosion wurden in einem 28%igen Calciumchlorid-Elektrolyten mit einem pH-Wert von 9,5 getestet. Das Leerlaufpotential wurde 16 h lang überwacht und der lineare Polarisationwiderstand nach ASTM G59-97 wurde verwendet, um die Steigungen der Tafelgeraden der Beschichtungen zu bestimmen. Die Korrosionsraten wurden in $\mu\text{m}/\text{Jahr}$ berechnet. Der

chloride containing environments as well as demonstrate increased ductility for crack and impact resistance. The newly developed materials, „Metco 5580A“ and „Metco 5280A“, address the shortcomings of both hard chrome plating and WCCoCr coatings by providing improved corrosion resistance in high chlorides and improved impact resistance than WCCoCr coatings. They also offer unparalleled ability for reparability, i.e., coating repair without the need of stripping in case of local damage.

2. Experimental

2.1 Materials and methods

The designed chemical compositions were WC-21 Cr_3C_2 -30NiCu for „Metco 5580A“ and Cr_3C_2 -30NiCu for „Metco 5280A“. The powders were produced by agglomeration, then sintering and sized into distributions of $-45+15$ and $-45+20$ μm , respectively. Commercial kerosene-oxygen HVOF spraying equipment, UniCoatPro-LF with „WOKAJet 410“ spray gun from Oerlikon Metco, was used to produce coatings on coupons and test articles. Coating substrates for lab samples were carbon steel.

2.2. Testing and characterization

The coatings were characterized using polished cross-sections for microstructural examination, Vickers HV0.3 microhardness (ASTM E384-17) and porosity evaluation (ASTM E2109-01). Surface roughness (Ra) and adhesive bond strength (ASTM C633-13) were measured from untreated coating surfaces. In addition,

the coatings were tested for performance characteristics with three body abrasion (ASTM G65-16 Procedure A), cavitation erosion (ASTM G32-16), impact testing and electrochemical corrosion.

Impact testing was completed using a 30 mm diameter WC-Co sintered ball (211g) released at height of 2 meters, equivalent to 4.14 joules of energy per drop. The ball was dropped repeatedly on the same area until visible damage to the coating layer adhesion is observed at which point the test is ended or the maximum number of 50 impacts is reached without failure.

Samples for electrochemical corrosion were tested in 28% calcium chloride electrolyte with pH of 9.5. Open circuit potential was monitored for 16 h and linear polarization resistance per ASTM G59-97 was used to determine Tafel slopes for the coatings. Corrosion rates were calculated in $\mu\text{m}/\text{year}$. Electrochemical Permeability (ECP) test (NBD10300-2010) was used to determine through porosity of coatings.

3. Results and Discussion

3.1 Spray process and metrics

The coatings were sprayed with a 4 inch barrel to a thickness of 300 μm for all samples. The spray parameters were adjusted for each powder (Table 1), with the following constants: spray distance of 300 mm, surface speed of 72 m/min and feed rate of 80 g/min. The coverage rate ($\text{m}^2/\text{h}/250$ μm) was calculated and compared between materials, given in Table 1. „Metco 5280A“ and „5580A“ had advantag-

Tabelle 1: Beschichtungseigenschaften und Leistungsprüfung
Table 1: Coating characteristics and performance

		WOKA 3652	METCO 5580A	METCO 5280A
Zusammensetzung <i>Composition</i>	Massenanteil in % <i>mass fraction in %</i>	WC-10Co4Cr	WC-21Cr ₃ C ₂ -30NiCu	Cr ₃ C ₂ -30NiCu
Partikelgrößenbereich <i>Particle size range</i>	mm	-45+15	-45+15	-45+20
Brennstoff <i>Fuel</i>	L/h	24	20	24
Sauerstoff <i>Oxygen</i>	NLPM	875	985	850
λ	ratio	1,07 1.07	1,45 1.45	1,04 1.04
Dichte <i>Density</i>	g/cm ³	13,96 13.96	10,46 10.46	7,42 7.42
Deckungsrate <i>Coverage rate</i>	m ² /h/250 μ m	0,64 0.64	0,81 0.81	1,06 1.06
Härte HV0.3 <i>Hardness HV0.3</i>	Durchschnitt <i>Average</i>	1115	862	790
	Standardabweichung σ <i>standard deviation σ</i>	87	57	47
Porosität <i>Porosity</i>	%	< 1	< 1	< 1
Oberflächenrauheit Ra <i>Surface roughness Ra</i>	μ m	4,14 4.14	3,51 3.51	4,68 4.68
	Ra-Standardabweichung σ <i>Ra standard deviation σ</i>	μ m	0,36 0.36	0,26 0.26
Haftfestigkeit <i>Adhesion strength</i>	MPa	89	91	86
	Schadensbild <i>Failure mode</i>	kleben <i>glue</i>	kleben <i>glue</i>	kleben <i>glue</i>
Stoß <i>Impact</i>	Tropfenanzahl <i>No. of drops</i>	6/7	50/46	50/50
	J	25-29	190-207+	207+
Kavitation <i>Cavitation</i>	mm ³	3,03 3.03	3,01 3.01	8,48 8.48
Abrasion <i>Abrasion</i>	mm ³	6,3 6.3	12,5 12.5	17,9 17.9
Elektrochemische Korrosion <i>Electrochemical Corrosion</i>	μ m/y	58,42 58.42	3,81 3.81	17,78 17.78
Elektrochemische Permeabilität <i>Electrochemical Permeability</i>	h	48+	48+	48+
Endbearbeitung Ra, μ m <i>Finishing Ra, μm</i>	wie gespritzte Ra <i>as-sprayed Ra</i>	3,68 3.68	3,18 3.18	3,94 3.94
	endgültige Ra <i>final Ra</i>	0,05 0.05	0,04 0.04	0,05 0.05

elektrochemische Permeabilitätstest (ECP) (NBD10300-2010) wurde verwendet, um die Durchlässigkeit der Beschichtungen zu bestimmen.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1. Sprühverfahren und Metriken

Die Beschichtungen wurden mit einem 4-Zoll-Lauf auf eine Dicke von 300 μ m für alle Proben gespritzt. Die Spritzparameter wurden für jedes Pulver angepasst (Tabelle 1), mit den folgenden Konstanten: Spritzabstand 300 mm, Oberflächengeschwindigkeit 72 m/min und Förderate 80 g/min. Die Deckungsrate

(m²/h/250 μ m) wurde berechnet und zwischen den Materialien verglichen (Tabelle 1). „Metco 5280A“ und „5580A“ lassen sich 66% bzw. 28% im Vergleich zur Referenzbeschichtung „WOKA 3652“ auftragen.

3.2. Mikrostruktur und Eigenschaften der Beschichtungen

Die Mikrostrukturen der Beschichtungen sind in Bild 2 dargestellt, und die Eigenschaften der Beschichtungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Mikrostruktur für alle Beschichtungen zeigt einen hohen Grad an lamellarer Struktur und Koaleszenz mit geringer Porosität, das

es of 66% and 28% versus “WOKA 3652” respectively, indicating these materials can be applied in less time than the baseline coating.

3.2. Microstructure and properties of coatings

The coating microstructures are shown in Fig. 2, and coating characteristics are given in Table 1. The microstructure for all coatings shows a high degree of lamellar flattening and coalescence with minimal distributed porosity, i.e., all measurements were less than 1%. Primary carbides are uniformly distributed, and minimal discrete islands of

metallic binder are observed. As-sprayed surface roughness is similar between the three coatings, with all values within the range of Ra 3.5 - 4.7 μ m. Coating adhesion is comparable between the three coatings with each failing within the glue layer during the tensile test, indicating a high level of bonding to the substrate (> 75 MPa) and within the coating. The hardness values of the coatings do vary considerably, though not unexpectedly, considering the different carbide types and matrix content for the “Metco 5580A” and “5280A” versus “WOKA 3652”.

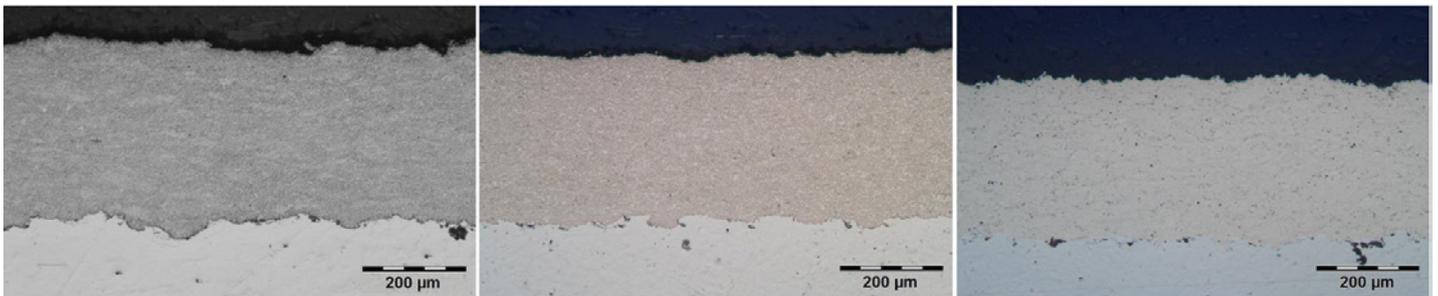


Bild 2: Beschichtungsgefüge von links: „WOKA 3652“, „Metco 5580A“ und „Metco 5280A“

Fig. 2: Coating microstructures from left: “WOKA 3652”, “Metco 5580A” and “Metco 5280A”

heißt alle Messungen lagen unter 1%. Die Primärkarbide sind gleichmäßig verteilt und es werden nur minimale vereinzelte Inseln von metallischem Binder beobachtet. Die Oberflächenrauigkeit im gespritzten Zustand ist bei allen drei Beschichtungen ähnlich, wobei alle Werte im Bereich von Ra 3,5–4,7 µm liegen. Die Haftung der Beschichtungen ist zwischen den drei Beschichtungen vergleichbar, wobei beim Zugtest alle innerhalb der Klebeverbindung versagen, was auf eine hohe Haftung zum Substrat und innerhalb der Beschichtung hinweist (> 75 MPa). Die Härtewerte der Beschichtungen variieren deutlich, wenn auch nicht unerwartet, wenn man die unterschiedlichen Hartmetallsorten und den Matrixgehalt von „Metco 5580A“ und „5280A“ im Vergleich zu „WOKA 3652“ berücksichtigt.

3.3. Leistungsprüfung der Beschichtungen

Die Beschichtungen „Metco 5280A“ und „Metco 5580A“ wurden mit „WOKA 3652“ (WCCoCr) verglichen. Beim Schlagversuch versagte die WCCoCr-Beschichtung nach 6 und 7 Schlägen aufgrund von Abplatzungen, „Metco 5280A“ hielt 50+ Schläge und „Metco 5580A“ 46 und 50+ Schläge. Bild 3c zeigt die Ergebnisse im Vergleich. Die Beschichtungen wiesen eine plastische Verformung auf, ohne dass es zu Abplatzungen oder Delaminationen kam. Die neuen Beschichtungen konnten im Vergleich zur WCCoCr-Beschichtung etwa die siebenfache Schlagenergie absorbieren.

Die elektrochemischen Korrosionsraten in der 28%igen CaCl₂-Lösung betragen 58,4 µm/Jahr für „WOKA 3652“, 17,8 µm/Jahr für „Metco 5280A“ und 3,8 µm/Jahr für „Metco 5580A“, Bild 3b. „Metco 5280A“ hatte eine mehr als 3-mal niedrigere Korrosionsrate im Vergleich zu WCCoCr. Die von „Metco 5580A“ war mehr als 15-mal niedriger. ECP-Tests ergaben, dass alle HVOF-Beschichtungen für 48+ h undurchlässig waren, zum Vergleich: Hartverchromungen versagten bereits nach 3 bis 6 h Exposition. Bei der Kavitationserosion, Bild 3d, zeigte „Metco 5580A“ eine hervorragende Beständig-

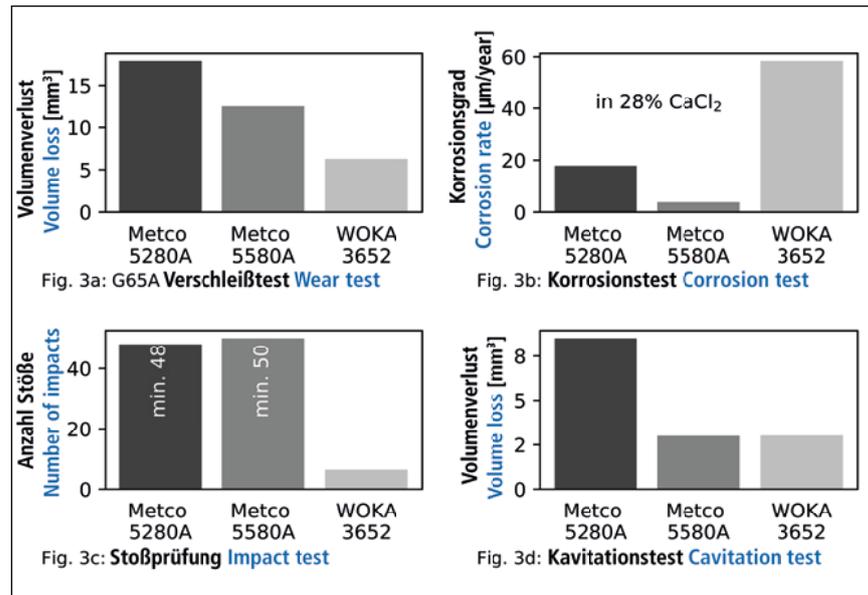


Bild 3: Vergleich der Beschichtungsleistung

Fig. 3: Comparison of coating performance

keit mit einem Volumenverlust von 3,03 mm³, ein Wert vergleichbar mit „WOKA 3652“, für das ein Wert von 3,01 mm³ gemessen wurde. „Metco 5280A“ wies einen Volumenverlust von 8,48 mm³ auf. Abrasionstests nach ASTM G65 zeigten bei „WOKA 3652“ die geringste Verschleißrate von 6,3 mm³, „Metco 5580A“ folgte mit 12,6 mm³ und „Metco 5280A“ mit 17,9 mm³, Bild 3a. Die Beschichtungen sind alle deutlich besser als typische Hartverchromungen mit ≈30 mm³ [4]. Die Ergebnisse der Verschleißtests unterstützen die ursprüngliche Konstruktionsabsicht und bieten gute Schlagfestigkeit, Widerstandsfähigkeit gegen Beschädigungen und Korrosionseigenschaften in Kombination mit ausreichender Verschleißfestigkeit.

Die Beschichtungen wurden hinsichtlich der Oberflächengüte und Nachbearbeitung verglichen. Beide Beschichtungen wurden zusammen mit der Referenzbeschichtung aus WCCoCr im Labormaßstab und an Pilotbauteilen mit Diamantscheiben geschliffen und bearbeitet. Die erreichte Oberflächengüte der neuen Beschichtungen war mit der von WCCoCr-Beschichtungen vergleichbar (Tabelle 1). Darüber hinaus wurden Tests an „Metco 5280A“ mit kostengünstigen SiC-Schleifkörpern durchgeführt, wobei vergleichbare Rauheitsergebnisse wie mit einem Diamanten erzielt wurden, während SiC für WCCoCr nicht angewendet werden kann.

3.3. Performance testing of coatings

Coatings of „Metco 5280A“ and „Metco 5580A“ were benchmarked against „WOKA 3652“ (WCCoCr). For the impact test, the WCCoCr coating failed after 6 and 7 impacts due to spalling of the coating, „Metco 5280A“ survived 50+ impacts and „Metco 5580A“ survived 46 and 50+ impacts. Fig. 3c shows the values after which the test was stopped. The coatings exhibited plastic deformation without any spalling or delamination. The new coatings could absorb approximately seven times the amount of impact energy compared to the WCCoCr coating.

Electrochemical corrosion rates in the 28% CaCl₂ solution were 58.4 µm/year for „WOKA 3652“, 17.8 µm/year for „Metco 5280A“ and 3.8 µm/year for „Metco 5580A“, Fig. 3b. „Metco 5280A“ had more than 3 times lower corrosion rate compared to WCCoCr while „Metco 5580A“ was more than 15 times lower. ECP testing revealed that all HVOF coatings were impermeable for 48+ hours, for comparison hard chrome plating failed between 3-6 hours of exposure. For cavitation erosion, Fig. 3d, „Metco 5580A“ had excellent performance with a volume loss of 3.03 mm³ and „WOKA 3652“ performed comparably with a loss of 3.01 mm³. „Metco 5280A“ exhibited a volume loss of 8.48 mm³. Abrasion testing using

the ASTM G65 rubber wheel method showed „WOKA 3652“ with the lowest wear rate of 6.3 mm³, „Metco 5580A“ next with 12.6 mm³ and „Metco 5280A“ with 17.9 mm³, Fig. 3a. The coatings are all significantly better than typical hard chrome plating with ≈30 mm³ [4]. The results from wear testing support the original design intent to provide good impact resistance, damage tolerance and corrosion properties combined with sufficient wear resistance.

Coatings were benchmarked on finishability and grinding efficiency. Both coatings along with the reference coating of WCCoCr were ground and finished in laboratory scale and also on pilot components using diamond grinding media. Final surface finish for the new coatings was comparable to that achieved for WCCoCr coatings, Table 1. In addition, feasibility testing was done for „Metco 5280A“ using low-cost SiC grinding media with comparable roughness results obtained with diamond, whereas SiC will not work for WCCoCr.

Coatings were also tested for local repairability. Spot repairing was demonstrated on a rotor segment by manually grit blasting an area clean of coating, applying new coating layer locally and finish blending with a hand-held grinding tool. The integrity of the repaired area was evaluated using „Magnaflux SpotCheck“ dye-penetrant system, Fig. 4. A completely crack-free repair was achieved.

Die lokale Reparatur der Beschichtung wurde ebenfalls getestet. Die punktuelle Reparatur wurde an einem Rotorsegment demonstriert, indem die Beschichtung in einem Bereich manuell durch Sandstrahlen entfernt, eine neue Beschichtung lokal aufgetragen und mit einem Handschleifgerät nachbearbeitet wurde. Die Integrität des reparierten Bereichs wurde mit dem Magnaflux-SpotCheck-Farbeindringverfahren bewertet, Bild 4. Es wurde eine vollständig rissfreie Reparatur erreicht.

Während des Prozesses wurden keine Abplatzungen oder Abhebungen an den Kanten der Beschichtung beobachtet. Dies demonstriert eine robuste Reparierbarkeit, die durch die hohe Duktilität und die hohe Haftfestigkeit der Beschichtungen ermöglicht wird.

4. Schlussfolgerungen

Die neuen Werkstoffe „Metco 5280A“ und „Metco 5580A“ bieten nachweislich eine außergewöhnliche Korrosionsbeständigkeit und Korrosionsschutzfähigkeit unter Bedingungen mit hohem Chloridgehalt. Darüber hinaus kombiniert das Design dieser Werkstoffe eine zweckmäßige Verschleißfestigkeit mit für den Endanwender relevanteren Eigenschaften wie Duktilität, Schadenstoleranz und einfache Reparierbarkeit.

Elektrochemische Korrosionstestergebnisse bestätigen, dass die neuen Werkstoffe eine geringere Korrosionsrate in einer konzentrierten CaCl_2 -Sole aufweisen, die typisch für Bohranwendungen ist. Die erhöhte Duktilität reduziert die Rissneigung und die Durchtrittswege für korrosive Medien durch die Beschichtung. Dieser kombinierte Effekt erlaubt längere Lebensdauer im Feld.

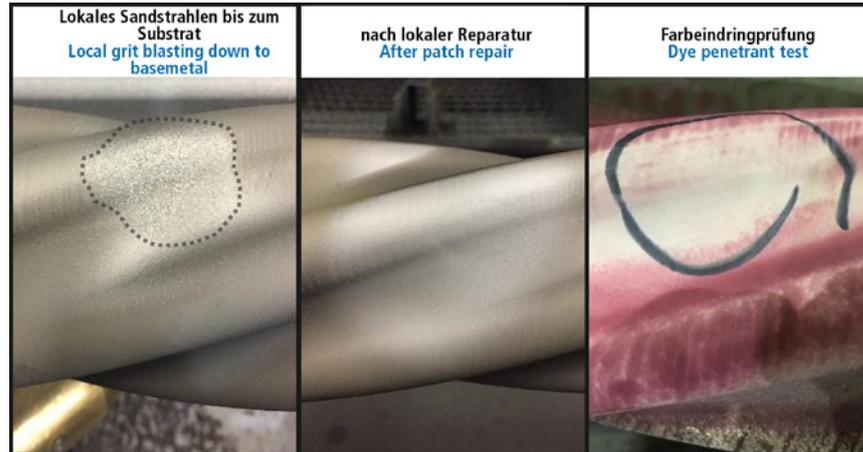


Bild 4: Lokaler Reparaturprozess der Beschichtung

Fig. 4: Local coating repair process

Erhöhte Duktilität und Schadenstoleranz sind besonders wichtig, da die Lebensdauer der Beschichtung oft durch äußere Beschädigungen beeinträchtigt wird. Die höhere Schadenstoleranz wurde durch die Eigenschaft bewiesen, siebenmal mehr Stöße im Vergleich zur WC-CoCr-Beschichtung zu absorbieren. Die Reparierbarkeit war ein weiterer wichtiger Faktor. Durch die höhere Duktilität der Matrix können diese Beschichtungen im Falle einer lokalen Beschädigung besonders einfach repariert werden. Die Duktilität und die hohe Adhäsion zum Substrat verhindern, dass die Ränder der Beschichtung abplatzen oder sich abheben, wodurch die Integrität der reparierten Stelle gewährleistet wird. Die Punktreparatur wurde an einem Rotorsegment demonstriert.

Effizienz beim Schleifen und Oberflächengüte sind wichtige Faktoren beim industriellen Einsatz der Beschichtungen. „Metco 5280A“ ermöglicht auch das Schleifen mit herkömmlichen SiC-basierten Schleifmedien und senkt so die Kosten bei der Aufarbeitung von Komponenten.

No flaking or lifting of the edges of the coating were observed during the process. This suggests more robust repairability, facilitated by the high ductility and high adhesion strength of the coatings.

4. Conclusions

The new materials, „Metco 5280A“ and „Metco 5580A“, were proven to provide exceptional corrosion resistance and corrosion protection capability in high chloride conditions. In addition, the design of these materials combines fit-for purpose wear resistance to more relevant end-user values such as ductility, damage tolerance and simple repairability.

Electrochemical corrosion test results confirm that the new materials have a lower corrosion rate in a concentrated CaCl_2 brine typical for some drilling operations. Increased ductility reduces the cracking tendency and pathways for corrosive media through the coating. This

combined effect can be realized as longer service life in the field.

Increased ductility and damage tolerance are especially important, as coating service life is often affected by external damage. Higher damage tolerance was proven by the ability to absorb seven times more impact compared to WC-CoCr coating. Repairability was another key design factor. The higher ductility of the matrix makes these coatings especially easy to spot repair in the case of local damage. The ductility and high adhesion to substrate prevents the edges of the coating to flake or lift, ensuring the integrity of the repaired spot. Spot repairing was demonstrated on a rotor segment.

Grinding efficiency and finishability are important factors in industrial use of the coatings. By design, „Metco 5280A“ allows also grinding with traditional SiC based grinding media lowering the cost of consumables for component refurbishment.

Literatur References

- [1] Nestler, Montia C., Prenzel, G., Seitz, T., HVOF-Spraying vs. Hard Chrome Plating—Coating Characteristics and Aircraft Applications, Thermal Spray 1998: Meeting the Challenges of the 21st Century, Proc. of the 15th International Thermal Spray Conference, 1998.
- [2] Sartwell, Bruce D., P. Natishan, I. Singer, K. Legg, J. Schell, and J. Sauer. "Replacement of chromium electroplating using HVOF thermal spray coatings." In AESF Plating Forum, 1998.
- [3] Perez, T.E. Corrosion in the Oil and Gas Industry: An Increasing Challenge for Materials. JOM 65, 2013.
- [4] "ASTM G65 Wear Resistance Test" retrieved from <https://hardide.com/technical-information/hardide-surface-coating-tests/astm-g65-wear-resistance-test/>.