

FACHBEITRAG 01/2020

Thermisches Spritzen von Offshore-Windenergie-Anlagen zum Schutz vor Korrosion

Dr. Frank Prenger Grillo-Werke AG, Werner Krömmer Linde GmbH

Düsseldorf, 24.08.2020

Die Baugruppen von Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) sind in der Regel aus niedrig legierten Baustählen hergestellt. Um einen dauerhaften Korrosionsschutz über die gesamte geplante Lebensdauer von 25 Jahren und mehr zu erzielen, spielen Duplex-Systeme, die aus der Kombination einer lichtbogengespritzten Zink-Aluminium15 (ZnAl15) Schicht (thermally sprayed zinc-aluminum = TSZA) und einer passenden organischen Deckbeschichtung bestehen, eine große Rolle. Für das Aufbringen der TSZA-Schicht ist das Lichtbogendrahtspritzen das am häufigsten verwendete Verfahren, da es hohe Abschmelzraten und damit hohe Flächenleistungen ermöglicht. Moderne Lichtbogenspritzanlagen können, ebenso wie die Strahlanlagen zur Oberflächenvorbereitung, in die Automatisierung eingebunden werden und ermöglichen dadurch beste Qualität, enge Schichttoleranzen und einen nachhaltigen Korrosionsschutz.

Beschichtungswerkstoffe und Eigenschaften

Zink und im maritimen Bereich vor allem ZnAl15 werden als Spritzwerkstoffe für den aktiven Korrosionsschutz verwendet. Aluminiumwerkstoffe werden unter anderem aus wirtschaftlichen Gründen vor allem bei höheren Temperaturen eingesetzt. Wie in Tabelle 2 (ISO 2063) dargestellt, können die Zink- und Zink-Aluminiumschichten ohne Folgebeschichtung (as sprayed (as)), oder auch nur versiegelt (as sprayed, sealed (as+s)) und falls erforderlich in Kombination mit einer mehrlagigen Deckbeschichtung (as sprayed, sealed overcoated (as+s+oc)) ausgeführt werden.

Für die Türme von Offshore-Windenergieanlagen werden normalerweise Duplex-Systeme eingesetzt. Diese bestehen aus einer 100 µm ZnAl15-Schicht, die im Lichtbogenspritzverfahren aufgetragen wird, gefolgt von einer Versiegelung und einer mehrlagigen organischen Deckbeschichtung.

Die 2018 revidierte DIN EN ISO 12944 „Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme“ gilt als Beschichtungsnorm für tragende Stahlbauteile und legt je nach Anforderungsprofil (Korrosionsbelastung, Einsatzzeit), die Ausführung der Beschichtungssysteme fest. Im neuen Teil 9,

wird der Korrosionsschutz im Offshore-Bereich mit der Korrosivitätskategorie CX behandelt.

Für verzinkte Oberflächen kann die Deckbeschichtung, im Vergleich zu Bauteilen, die nur eine organische Deckbeschichtung erhalten, deutlich reduziert werden (Tabelle 1).

Ein komplettes Duplex-System, wie im Querschnitt in Abbildung 1 dargestellt, hat eine Gesamtschichtdicke von mindestens 350 µm. Die dabei für den Offshore-Bereich relevanten Korrosionskategorien sind C4, C5 und CX (Tabelle 2).

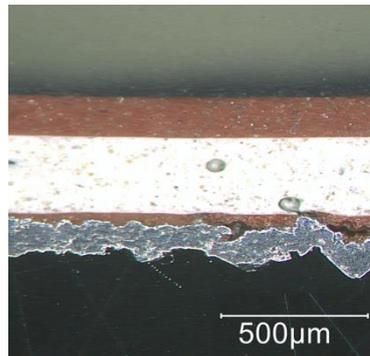


Abbildung 1 Metallographischer Querschnitt der TSZA Schicht mit organischem Schichtaufbau

	Gestrahelter unlegierter Stahl: SA 2 1/2, Oberflächenprofil: mittel (G)		Feuerverzinkter Stahl oder Stahl mit thermisch gespritztem Zinküberzug ^{a)}
Art der Umgebung	CX (Offshore)		CX (Offshore)
Art des Grundbeschichtungsstoffes	Zn (R) ^{b)}	andere Grundbeschichtungsstoffe	
NDTF	≥ 40 µm	≥ 60 µm	
Mindestanzahl der Schichten	3	3	2
NDTF des Beschichtungssystems	≥ 280 µm	≥ 350 µm	≥ 200 µm

Tabelle 1: Empfohlene Beschichtungssysteme für die Korrosivitätskategorie CX nach DIN ISO EN 12944-9

Korrosivitätskategorie nach ISO 12944-2	Zn			ZnAl15			Al		
	as	as+s	as+s+oc	as	as+s	as+s+oc	as	as+s	as+s+oc
C1 sehr gering Trockene Innenräume	80	80	50	80	80	50	NR	NR	-
C2 gering Stadt Inland	150	80	50	150	80	50	150	150	150
C3 mittel Küsten- oder Industriegebiet	150	100	80	150	80	80	150	150	150
C4 hoch Küste	NR	150	100	100	100	100	200	200	150
C5 sehr hoch Küste / Off-shore	NR	NR	100	200	150	100	250	200	200
CX extrem Off-shore	NR	NR	200	250	150	100	250	200	200

as: wie gespritzt, as+s:versiegelt, as+s+oc: organische Beschichtung, NR: nicht empfohlen

Tabelle 2: Schichtdicke Zn, ZnAl15 und Al in Abhängigkeit der Korrosivitätskategorie (ISO 2063), atmosphärisch

Die Vorteile des kathodischen Korrosionsschutzes eines Duplexsystems TSZA + Beschichtung zeigt die Abbildung 2. Bei der Prüfung entsprechend ISO 12944-9 werden die Prüfkörper mit einer künstlichen Beschädigung (30x2 mm horizontal) versehen, um eine Beschädigung des Korrosionsschutzsystems zu simulieren. Die Gesamtdauer des Tests betrug 25 Testzyklen, wobei jeder Zyklus drei Tage UV- und Kondensationsbelastung, drei Tage Salzsprühnebeltest und einen Tag Tieftemperatur (-20°C) abdeckt. Nach 25 Wochen wurde der Grad der Korrosion an der Beschädigung bewertet.

Zum Vergleich wurden Duplexsysteme mit Spritzschichten aus ZnAl15 und Al sowie eine Referenzprobe ohne Spritzschicht getestet. Die für das Thermische Spritzen vorgegebene Schichtdicke von 100 µm ZnAl15 (Al 200 µm) (EN ISO 2063-1) wurde auf 80 µm reduziert, wodurch die von der Norm geforderte Mindestschichtdicke appliziert wurde. Im Vergleich von ZnAl15, reinem Aluminium und dem Muster ohne Metallisierung zeigt die Probe mit ZnAl15 den besten Korrosionsschutz und nur eine geringere Beschädigung neben dem Ritz wie in Abbildung 2 zu sehen ist. Proben ohne Metallisierung sind durch starke Rotrostbildung, und damit einen starken Korrosionsangriff des Stahls gekennzeichnet. Auch neben dem Ritz ist eine deutliche Korrosion des Stahls zu erkennen. Die Probe in der Mitte ist mit Aluminium beschichtet und zeigt eine leichte Rotrostbildung, die von der Beschädigung ausgeht.

Durch die extrem schnelle Zunahme und die starke Volumenvergrößerung der Korrosionsprodukte bilden diese eine große Fläche, auf der die organische Schicht abblättert.



Abbildung 2 ISO 12944-9-Tests: Vergleich von Beschichtungssystemen links ohne Metallisierung, Mitte Al-Duplex, rechts ZnAl15-Duplex

Dieser Vorteil der TSZA-Duplexbeschichtung ist bereits seit langer Zeit bekannt und hat sich in der Praxis etabliert und bewährt. Der Windpark Vindeby war 1991 der erste Offshore-Windpark der Welt. Dort wurde bereits ein TSZA-Duplexsystem für die Türme eingesetzt. Im Jahr 2017 wurden die Anlagen, aufgrund der geringen Generatorleistung nach einer Lebensdauer von mehr als 25 Jahren rückgebaut. Aufgrund der Zuverlässigkeit der Anlagen konnte dabei die geplante Lebensdauer von 20 Jahren um fünf Jahre übertroffen werden. Die völlig intakte Duplex-Beschichtung mit einer Zink-Aluminium-Metallisierung auf einem der rückgebauten Turmsegmente ist in Abbildung 3 dargestellt. Im Schliffbild ist deutlich zu erkennen (dunkle Bereiche), dass über die gesamte Lebensdauer Feuchtigkeit die Deckbeschichtung durchdrungen hat. Die Spritzschicht hat dann den Stahl weiter vor Korrosion geschützt und die Eigenschaften des Duplexsystems erhalten.

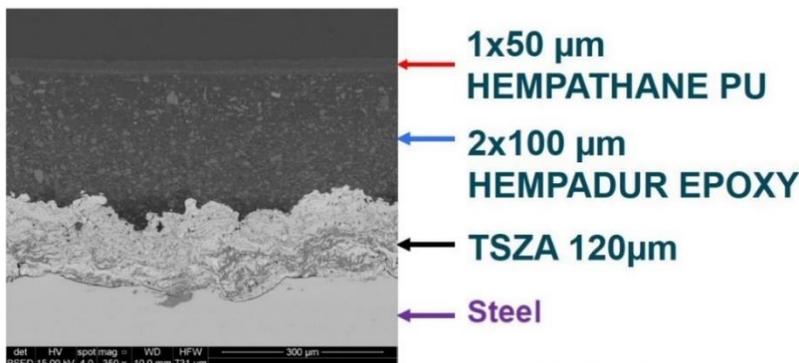
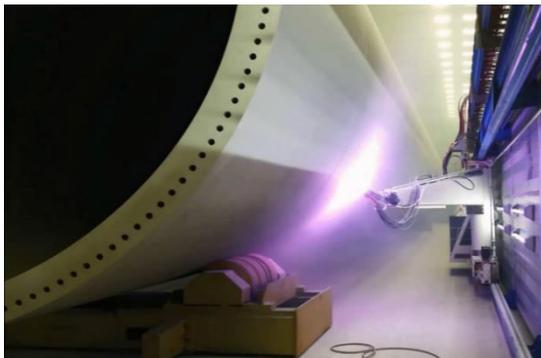


Abbildung 3: Metallographischer Querschnitt Duplexbeschichtung von Vindeby (Hempel)

Trends in der Beschichtungstechnologie hin zur Automatisierung

Nach wie vor wird ein großer Teil der Beschichtungen im Offshore-Bereich, insbesondere für Teile von kleinen Abmessungen und mit wechselnder Geometrie, manuell durchgeführt. Es gibt aber viele Gründe, die für eine Automatisierung in dieser Branche sprechen. Wo immer die Möglichkeit besteht, sollte sowohl die Vorbereitung der Oberfläche durch Strahlen als auch das Thermische Spritzen automatisiert ausgeführt werden. Aufgrund der geringen Schichtdickenschwankungen beim automatisierten Spritzen ergeben sich wirtschaftliche Vorteile für den Anwender bei gleichzeitig hoher Qualität der Schicht. Auch die Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal und Aspekte der Arbeitssicherheit sind dabei zu betrachten. Durch das sortenreine Sammeln und Recyceln des Oversprays ermöglicht der automatisierte Spritzprozess einen nachhaltigen, langlebigen und wartungsfreien Korrosionsschutz.



Abbildungen 4 und 5: (links) Automatisierter Spritzprozess Firma Muelhahn, (rechts) Firma Krebs (Copyright Muelhahn und Krebs)

Lösungen zur automatisierten Beschichtung von Großstrukturen im Offshore-Bereich wurden bereits mehrfach umgesetzt. Dabei wurde die hohe Qualität, die gute Verfügbarkeit der Anlagen sowie die höhere Prozesssicherheit und ein geringerer Nacharbeitsbedarf bestätigt (Abbildungen 4 und 5). Auch deutliche wirtschaftliche Vorteile durch eine Systemoptimierung der automatisierten Anlagen konnte erreicht werden. Daten aus der Praxis zeigen, dass ein Mitarbeiter maximal 15 - 20m²/h manuell beschichten kann, eine automatisierte Anlage hingegen bis zu 100m²/h.

Dank

Wir danken dem Forschungspartner Institut für Oberflächentechnik IOT, RWTH Aachen, für die Unterstützung beim Strahlen und für die notwendigen Tests und Laboruntersuchungen, dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie für die finanzielle Unterstützung des Forschungsprojektes KOKON (0325672 C). Unser Dank gilt auch den Firmen Krebs und Muelhahn für die bereitgestellten Fotos und Informationen über das automatisierte Spritzen von

Offshore-Bauteilen sowie an die Firma Hempel für die Informationen über die Untersuchungen des Windparks Vindeby.

„Faszination Oberflächentechnik“ ist eine gemeinsame Initiative der GTS und des DVS – Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V

Website: www.faszination-oberflaechentechnik.de

Ansprechpartner Fachinformation 1:

Dr. Frank Prenger
Grillo Werke AG
f.prenger@grillo.de

Werner Krömmer
Linde GmbH
werner.kroemmer@linde.com