

Chancen und Möglichkeiten neuer Zinklegierungen

Legierungen wie microZINQ® 5, microZINQ® 23 und ecoZINQ® bieten Lösungen für innovative Anwendungen der Stückverzinkung

Pinger, T. (1)

Im Bereich des Korrosionsschutzes von Stahlkonstruktionen ist das Stückverzinken ein seit über einem Jahrhundert bewährtes Verfahren, das traditionell sowohl im Metall- und Stahlbauhandwerk als auch im Bereich von Verbindungselementen und Verkehrseinrichtungen Anwendung findet. Auch im Nutzfahrzeug-Bereich kommt das Stückverzinken zunehmend zum Einsatz.

Im Hinblick auf die Gewinnung und Entwicklung neuer Marktsegmente zeigt ein Blick in den Markt, dass die Anforderungen an die Oberflächentechnik vielfältig sind:

- Applizierbarkeit auf hoch- und höchstfesten Stähle,
- Verringerung des Bauteilgewichts,
- Zunahme der Komplexität von Strukturen,
- zunehmende Kombination verschiedenster Werkstoffe und Beschichtungssysteme, bei gleichzeitiger Zunahme des Korrosionsschutzes und multifunktionaler Eigenschaften,
- Anspruch auf ökologische und nachhaltige Systeme.

Im Bereich der Stückverzinkung ergeben sich innovative Lösungsansätze insbesondere durch die Nutzung neuer, hochlegierter Zinkschmelzen, wobei die Erkenntnisse der Bandverzinkung mit Zink-Aluminium- sowie Zink-Aluminium-Magnesium-Legierungen als Wegweiser dienen. Voigt & Schweitzer arbeitet seit Jahren intensiv an der prozess- und anlagentechnischen

Übertragung. Die hierbei erzielten Ergebnisse und Erfahrungen sowie die mit der Anwendung verknüpften Chancen und Möglichkeiten werden nachfolgend dargestellt.

Die microZINQ®-Technologie

Die microZINQ®-Technologie ist ein Dünnschicht-Stückverzinkungsverfahren auf Grundlage hocheffizienter Zn-Al-Schmelzentechnologie. Im Rahmen der prozessseitigen Entwicklung, insbesondere im Bereich einer innovativen Vorbehandlungsmethode und der Prozessführung, wurde der hohe schmelzentechnologische Standard der Bandverzinkung auf den Stückverzinkungsprozess übertragen und in eine Produktion unter Serienbedingungen umgesetzt.

Unter Verwendung der eutektischen Zink-Aluminium-Legierung 95 %Zn-5 %Al lassen sich mit dem entwickelten Verfahren sehr dünne, aber gleichzeitig auch sehr leistungsfähige Zinkschichten herstellen. Der Grund für beide Effekte liegt in dem rela-

tiv hohen Aluminium-Anteil in der Zinkschmelze. So wird hierdurch die Kinetik der Zinkschichtbildung derart beeinflusst, dass sich keine ausgeprägten Eisen-Zink-Phasen bilden, welche maßgeblich für die Dicke von circa 60-150 µm einer im klassischen Stückverzinkungsprozess hergestellten Zinkschicht verantwortlich sind. Vielmehr bildet sich eine durchschnittlich 10 µm dünne Zinkschicht, bestehend aus globular oder lamellar angeordneten Zn- und Al-reichen Phasen (Bild 1). Die Ausbildung der Zinkschicht erfolgt zudem vollständig unabhängig vom Silizium-Gehalt des Stahls, der bei der Stückverzinkung gemäß DIN EN ISO 1461 zu teils sehr hohen Zinkschichtdicken im Bereich mehrerer 100 µm führen kann. Dieser unter Korrosionsschutzaspekten zwar positive Effekt gemäß dem Motto „Viel hilft viel“ stellt sich hinsichtlich der Abplatzgefahr, der Passgenauigkeit, der Optik sowie des häufig unnötigen und übertriebenen Ressourcenverbrauchs aber als ungünstig dar.

Hinsichtlich des Korrosionsschutzes führt der Effekt von Aluminium, eine sehr stabile und widerstandsfähige Passivschicht zu bilden, dazu, dass gegenüber einer herkömmlichen Zinkschicht die Korrosionsschutzwirkung trotz geringerer Schichtdicke gesteigert werden kann. Die Ergebnisse in den herkömmlichen Korrosionsuntersuchungen belegen dies eindrucksvoll:

- Salzsprühnebeltest (ISO 9227): mehr als 1.200 Stunden,
- Kesternich-Test (DIN 50018): 45 Zyklen bei einer Konzentration von 0,2 l SO₂, sieben Zyklen bei einer Konzentration von 2,0 l SO₂,
- Klimawechseltest (VDA 621-415): zehn Zyklen.

Aus der resultierenden deutlich geringeren Abtragsrate des Zinks in die Umwelt erhöht sich die Lebensdauer des Bauteils. Die bisherigen eigenen Erfahrungen wie auch die Literaturquellen aus dem Bereich

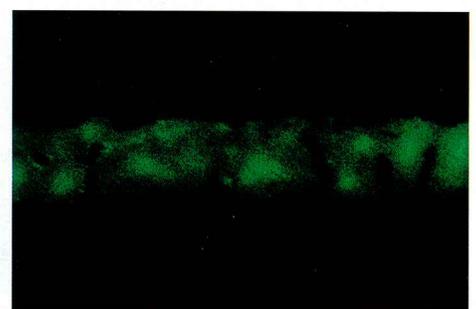
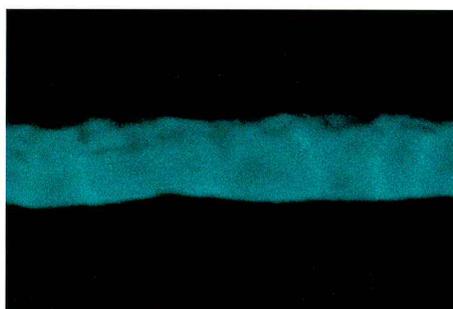
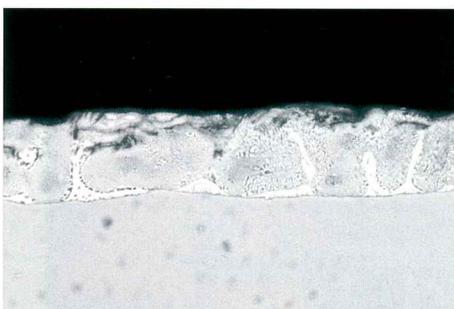


Bild 1: Schlibbild der Zn5Al-Schicht und Elementverteilung (mittig Zn und rechts Al)

Fotos: Voigt & Schweitzer GmbH & Co. KG

der Bandverzinkung belegen eine deutlich geringere Abtragsrate in atmosphärischer Umgebung. Damit geht neben dem prinzipiell geringeren Einsatz von Zink auch weniger Zink über den diffusen Abtrag in der Umwelt „verloren“.

Zusätzlich zeichnet sich microZINQ® insbesondere durch eine stückverzinkungstypische, sehr hohe mechanische Belastbarkeit aus, die aus der metallurgischen Reaktion zwischen Stahl und Zinkschmelze herrührt. Im Steinschlagtest mit anschließendem Kesternich-Test werden acht Zyklen ohne Ansatz von Rotrost überstanden. Die Feststellung der Abriebbeständigkeit (DIN EN 438-2) bringt mit 0,01 - 0,025 µm/Zyklus die gleichen sehr guten Werte wie eine herkömmliche Stückverzinkung. Gleiches gilt für die Haftfestigkeit, die Resultate von bis zu 27 N/mm² lieferte.

Aufgrund der Verwendung der eutektischen Zink-Aluminium-Legierung kann die Schmelztemperatur auf 420 °C gegenüber üblichen 450 °C abgesenkt werden. Hierdurch und durch eine deutlich höhere Vorwärmtemperatur wird die thermische Belastung in Form der auf das Bauteil während des Eintauchvorgangs einwirkenden Temperaturdifferenz deutlich gesenkt.

Anwendungsbeispiel Automobil

Im Automobil-Sektor bestätigen sich die Laborergebnisse von microZINQ® seit über acht Jahren in der praktischen Anwendung. Bild 2 zeigt eines von mittlerweile über 10 Millionen microZINQ®-verzinkten Unterbodenteilen eines Pkw nach sechs Jahren und 100.000 km Fahrleistung. Nach der Reinigung ist erkennbar, dass der Zinküberzug komplett intakt ist und keine rostigen Stellen vorliegen.

Die Analyse der Zinkschicht anhand von Mikroschliffen bestätigt das makroskopische Bild, dass der Zinküberzug keine Schädigungen aufweist. Die Messung der Zinkschichtdicke und der Vergleich mit dem Neuzustand führt im Ergebnis dazu, dass eine Abnahme von lediglich circa 1 µm vorliegt.

Weitere Entwicklungsschwerpunkte

Über die Entwicklung des microZINQ®-Verfahrens und anlagentechnische Umsetzung in die Produktion hinaus wird die Forschung und Entwicklung zur weiteren



Bild 2: Unterbodenteil nach sechs Jahren (gereinigt von verkehrsbedingten Verschmutzungen)

Steigerung der Leistungsfähigkeit und Funktionalität von Zinkschichten weiter vorangetrieben.

Ein Schwerpunkt liegt hierbei in der Optimierung des Korrosionsschutzsystems für höchste korrosive und geometrische Anforderungen. In diesem Bereich kommt eine Zinklegierung mit einem Aluminiumgehalt von 23 % zum Einsatz. Während der Laborphase konnte die Leistungsfähigkeit im Rahmen von Korrosionsprüfungen mit folgenden Ergebnissen bestimmt werden:

- Salzsprühnebeltest (ISO 9227): 2.500 h,
- Zyklischer Korrosionstest (ISO 16701): 44 Zyklen,
- Klimawechseltest (VDA 621-415): elf Zyklen,
- Klimawechseltest (EN 20340): zehn Zyklen.

Seit circa zwei Jahren werden darüber hinaus Auslagerungsversuche mit microZINQ® 23-verzinkten Bauteilen in Offshore-Klima durchgeführt mit einem nach heutigem Stand positiven Ergebnis für microZINQ® 23.

Ein weiterer Entwicklungsschwerpunkt liegt in der Optimierung des Korrosionsschutzes im Hinblick auf Leichtgewichtlösungen, d.h., die weitere Reduzierung der Überzugsdicke und Anwendung auf hoch- und höchstfeste Stähle. Unter dem Begriff ecoZINQ® laufen hierzu aktuell Untersuchungen mit Zn-Al-Mg-Systemen. Die ersten Ergebnisse bestätigen die wiederum aus dem Bereich der Bandverzinkung vorliegenden Erwartungen an diese Dreistoffsysteme. Neben sehr guten Korrosionsbeständigkeitswerten ist hinsichtlich einer praktischen Anwendung insbesondere von Interesse, dass der Betrieb des Verfahrens bei einer Zinkschmelztemperatur von unter 400 °C realistisch ist, was hinsicht-

lich der Applizierbarkeit auf temperatursensiblen Stählen, wie sie im hoch- und höchstfesten Bereich in der Regel vorliegen, eine wichtige Rolle spielt.

Anwendungspotentiale

Vor dem Hintergrund der in den letzten Jahren gestiegenen Anforderungen und vielfältigen Bedürfnissen in verschiedenen Marktsegmenten wird für hoch leistungsfähige, robuste Korrosionsschutzsysteme wie microZINQ® und ecoZINQ® ein breites Anwendungspotential als Bestandteil von Lösungsstrategien im Bereich der Oberflächentechnik gesehen. Je nach Markt- und Kundencharakteristik können die spezifischen Vorteile der hochwertigen Legierungsschichten zum Tragen kommen. Nachfolgend sind hierfür einige Beispiele aufgeführt.

Gewichtersparnis

Im Bereich der Mobilität, also der Bewegung und Beförderung von Personen und Gütern, spielt das Gewicht der sich bewegenden Einheit wie der passiv bewegten Einheiten eine sehr große Rolle. Durch die Reduzierung der Zinkschichtdicke haben microZINQ®-verzinkte Bauteile ein geringeres Gewicht gegenüber herkömmlich verzinkten Bauteilen. Das führt zu Energieeinsparungen und der Verringerung des Verschleißes der Transporteinheit. Beispiele und Potentiale für eine zukünftige Anwendung sind:

- Bauteile aus dem Automobil- und Nutzfahrzeugbereich: Querlenker, Achsen, Fahrzeugarahmen sowie
- zu transportierende Teile: Gerüste, mobile Verkehrsrückhaltesysteme, mobile Wandsysteme.

Welchen Umfang dieser Aspekt selbst in der Größenordnung einiger 1000stel Millimeter im Bereich der Oberflächentechnik hat, veranschaulicht folgendes Praxisbeispiel:

Die Gewichts Differenz des in Bild 2 dargestellten Unterbodenteils eines Pkw zwischen einer klassischen Stückverzinkung und einer microZINQ®-Verzinkung beträgt circa 100 g pro Teil (10 µm statt 60 µm). Bei mittlerweile über 10 Millionen verzinkten Bauteilen bedeutet dies eine Einsparung von 1.000 Tonnen Zink, die nicht bewegt werden.

Anwendung bei hochfesten Stählen

Vor allem in der Fahrzeugindustrie, aber auch in weiten Teilen des Bauwesens geht der Trend zum Einsatz höherfester Stähle. Diese Werkstoffe bieten vielfältige Vorteile hinsichtlich des ressourceneffizienten Materialeinsatzes, sie stellen aber auch erhöhte Anforderungen hinsichtlich aller Fertigungs- und Verarbeitungsschritte. Um die Anwendung der neuen Verzinkungsverfahren auch in diesem Markt zu ermöglichen, wurden die in der Verzinkungsprozessbedingt vorliegenden Themen einer Wasserstoff- und Flüssigmetallversprödung ausführlich untersucht. Es zeigt sich, dass durch spezielle Vorbehandlungsschritte die Gefahr einer Wasserstoffversprödung deutlich reduziert ist und Stähle bis in den höchstfesten Bereich ohne Versprödungserscheinung verzinkt werden können. Die Untersuchung des Potentials hinsichtlich einer flüssigmetallinduzierten Spannungsrisskorrosion offenbarte, dass der hohe Aluminium-Gehalt inhibierend wirkt und keine negativen Effekte auftreten. In beiden Fällen wirken die hohe Vorwärmtemperatur sowie die niedrige Zinkschmelztemperatur günstig auf den resultierenden Spannungszustand

und somit positiv auf die Vermeidung von Versprödungsrisiken.

Im Bereich der Fügetechnik hochfester Baugruppen ist aufgrund der geringen Zinkschichtdicke sowie auf Basis der industriellen Erfahrungen mit dem legierungsgleichen Bandverzinkungssystem Galfan® bei einer microZINQ®-Verzinkung auch der Einsatz von Punktschweißungen möglich.

Geringer Zinkabtrag

Die Nachhaltigkeit von Beschichtungssystemen bezieht nicht nur die Applikation auf einem Produkt, sondern auch das Verhalten während des Produktlebenszyklus sowie an dessen Ende mit ein. Da auch Korrosionsschutzsysteme nicht vollständig inhärent gegenüber ihrer Umwelt sind, werden diese früher oder später selbst Opfer von Korrosion und entsprechend abgetragen. Zielsetzung eines jeden nachhaltigen, ressourceneffizienten Schutzsystems muss es deshalb sein, den Abtrag so gering wie möglich zu halten, um zum einen die Produktlebensdauer möglichst lang zu halten und zum anderen den Umwelteintrag diffusen Abtrags möglichst zu minimieren.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens des Umweltbundesamtes wurde u. a. der Eintrag von Zink in die Umwelt untersucht. Die Auflistung der Haupteintragsbereiche offenbart hierbei, dass der Bereich der Straßenausrüstung, also insbesondere der Verkehrsrückhaltesysteme, mit 38 % einen überproportionalen Anteil am Gesamteintrag in die Umwelt hat [1]. Durch den Einsatz von microZINQ® auf Leitplanken könnte diese spezielle sowie die Gesamteintragsquote drastisch reduziert werden.

Vor diesem Hintergrund wurde eine Teststrecke microZINQ®-verzinkter Leitplan-

ken an einer Bundesautobahn installiert (Bild 3). Nach annähernd vier Jahren Standzeit konnte bisher kein Zinkabtrag festgestellt werden, ebenso trat keine Bildung von Weißrost auf.

Im Vergleich zu ähnlichen Verzinkungssystemen auf Basis einer Bandverzinkung hat das microZINQ®-Verfahren den Vorteil, dass eine Vollverzinkung vorliegt und keine freien Schnittkanten existieren, die per se Stellen erhöhter Korrosion darstellen.

Förderung recyclingfähiger Produkte

Das Feuerverzinken stellt im Wettstreit mit organischen Beschichtungssystemen das Korrosionsschutzsystem mit der besseren Ökobilanz und dem deutlich höheren Grad der Recyclingfähigkeit dar. Sowohl im Prozess als auch im Lebenszyklus verzinkter Produkte herrscht ein hohes Maß an Kreislaufführung. Der Verzinkungsprozess ist weitestgehend abwasserfrei, im Gegensatz zu organischen Beschichtungen immer lösemittelfrei, Abfälle werden wieder aufbereitet und verzinkte Bauteile können unter Rückführung des Rohstoffs Zink wiederverwertet werden.

Vor diesem Hintergrund stellt die Wahl der Feuerverzinkung gegenüber einer Beschichtung prinzipiell die ökologisch wertvollere Variante dar. Durch die Entwicklung von microZINQ® und ecoZINQ® ist dies nun auch für die Bauteile möglich, für die bisher eine Stückverzinkung weniger bzw. gar nicht geeignet war, z.B. bei hoch- und höchstfesten Stählen.

[1] T. Hillenbrand et al: Einträge von Kupfer, Zink und Blei in Gewässer und Böden, Forschungsbericht Umweltbundesamt 000824, November 2004

(1) Dr.-Ing. Thomas Pinger, Voigt & Schweitzer GmbH & Co. KG



Bild 3: Teststrecke microZINQ®-verzinkter Leitplanken