

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Schadensanalyse
Flüssigmetallinduzierte Rissbildung beim Stückverzinken

Failure analysis
Liquid metal induced crack growth by hot dip galvanising

VDI 3822
Blatt 1.6 / Part 1.6

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this guideline shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

| Inhalt | Seite | Contents | Page |
|--|-------|---|------|
| Vorbemerkung | 2 | Preliminary note | 2 |
| Einleitung | 2 | Introduction | 2 |
| 1 Anwendungsbereich | 3 | 1 Scope | 3 |
| 2 Mechanismus der flüssigmetallinduzierten Rissbildung | 3 | 2 Mechanism of liquid metal assisted cracking | 3 |
| 2.1 Systeme mit Mischungslücke..... | 5 | 2.1 Systems with a miscibility gap..... | 5 |
| 2.2 Eutektische Systeme | 6 | 2.2 Eutectic systems | 6 |
| 2.3 Auswirkungen der Mehrstoffsysteme | 7 | 2.3 Effects of multi-component systems | 7 |
| 3 Verfahrenstechnische Einflussgrößen | 8 | 3 Process-related factors | 8 |
| 3.1 Einflussbereich Werkstoff..... | 8 | 3.1 Impact of the material..... | 8 |
| 3.2 Einflussbereich Konstruktion/Fertigung | 8 | 3.2 Impact of construction/manufacturing..... | 8 |
| 3.3 Einflussbereich Verzinkerei | 8 | 3.3 Impact of the galvanising plant | 8 |
| 3.4 Einfluss der Zinkbadtemperatur | 11 | 3.4 Impact of the zinc bath temperature | 11 |
| 4 Schadensbild der flüssigmetall induzierten Rissbildung | 12 | 4 Failure pattern of liquid metal assisted cracking | 12 |
| 4.1 Schadensbild bei aggressiver Schmelze... | 14 | 4.1 Failure pattern of aggressive melt | 15 |
| 4.2 Schadensbild bei sehr hohen Bauteileigenspannungen | 16 | 4.2 Failure pattern for very high component residual stress..... | 17 |
| 4.3 Schadensbild bei langen Tauchzeiten | 18 | 4.3 Failure pattern resulting from excess immersion times | 19 |
| 4.4 Folgeschaden durch feine Anrisse aus dem Verzinkungsprozess | 20 | 4.4 Subsequent damage due to fine cracks resulting from the galvanisation process..... | 21 |
| 4.5 Verzinkung von Blankstahl..... | 24 | 4.5 Galvanising bright steel..... | 25 |
| 4.6 Verzinkungsschaden an groß dimensionierten Schrauben | 26 | 4.6 Galvanisation damage to large-dimensional bolts..... | 27 |
| 4.7 Verzinkungsschaden nach dem Kaltbiegen | 28 | 4.7 Galvanisation damage after cold bending | 29 |
| 4.8 Verzinkungsschaden durch dickere Dimensionierung und höherfesten Werkstoff | 30 | 4.8 Galvanisation damage due to larger dimensioning and higher strength materials | 31 |
| Schrifttum | 32 | Bibliography..... | 32 |

VDI-Gesellschaft Materials Engineering (GME)

Fachbereich Werkstofftechnik

VDI-Handbuch Werkstofftechnik

VDI-Handbuch Fabrikplanung und -betrieb, Band 1: Betriebsüberwachung/Instandhaltung

VDI-Handbuch Produktentwicklung und Konstruktion

VDI-Handbuch Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Band 3: Verfügbarkeit/Schadensanalyse

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser VDI-Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi-richtlinien.de), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser VDI-Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe sind im Internet abrufbar unter www.vdi.de/3822.

Einleitung

Im Stahlbau ist das Stückverzinken nach dem Schmelztauchverfahren (Feuerverzinken) als Korrosionsschutz ein verbreitetes und anerkanntes sowie bewährtes Verfahren, das entsprechend häufig angewandt wird. Das Verfahren ist in der DIN EN ISO 1461 geregelt. Dennoch kommt es immer wieder zu teilweise gravierenden Schadensfällen an feuerverzinkten Bauteilen. Teilweise handelt es sich um offensichtliche Schäden, wie beispielsweise das Aufreißen von Rohren oder Trägern. Diese Fälle sind noch verhältnismäßig harmlos, da solche Teile aufgrund der sichtbaren Risse kaum zum Einsatz kommen. Wenn Anrisse jedoch unerkannt bleiben, ergibt sich eine potenzielle Gefahr. Sie können Keime für Ermüdungsanrisse bilden, oder es kommt beim Einbau oder nach dem Einbau unter Lasteinwirkung plötzlich zum Bauteilversagen.

Die Schädigung findet sich in der Literatur unter verschiedenen Bezeichnungen:

- flüssigmetallinduzierte Rissbildung oder flüssigmetallinduzierte Spannungsrisskorrosion
- Lotbruch oder Lötbruch (Lötrissigkeit)
- Flüssigmetallversprödung (Liquid-Metal-Embrittlement, LME)

Die Problematik der Rissbildung beim Schmelztauchverzinken ist seit Langem bekannt und gut dokumentiert. Zahlreiche Einflussgrößen wurden bereits untersucht und/oder sind nach wie vor Gegenstand von Forschungsarbeiten.

Preliminary note

The content of this guideline has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the guideline VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this guideline without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions specified in the VDI Notices (www.vdi-richtlinien.de).

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this guideline.

A catalogue of all available parts of this series of guidelines can be accessed on the internet at www.vdi.de/3822.

Introduction

Hot dip galvanising is a well-established, recognised and widely used means of providing corrosion protection in steel construction. The method is regulated by DIN EN ISO 1461. However, it is not uncommon for hot dip-galvanised components to sustain damage, which in some cases can be serious. Sometimes the damage is obvious; the rupturing of pipes and girders, for example. Such cases are relatively harmless since the visible cracks render these parts virtually useless. It is when the cracks remain undetected that they are potentially dangerous. They can form the nuclei for fatigue cracks and sudden component failure may occur during or after installation when subject to loading.

In the literature this type of damage is designated in various ways:

- liquid metal assisted cracking (LMAC) or liquid metal assisted stress corrosion cracking
- soldering brittleness
- liquid metal embrittlement (LME)

The problem of cracking during hot dip galvanising has been known about for a long time and is well documented. Numerous determining factors have already been explored and/or are still being researched.

1 Anwendungsbereich

Die vorliegende Richtlinie soll primär Hinweise für die Abklärung von Schadensfällen geben. Gleichzeitig kann die Richtlinie gegebenenfalls hinsichtlich Qualitätssicherungsmaßnahmen in der betrieblichen Fertigungskette vom Konstrukteur bis zum Verzinker helfen, kostspielige und mitunter gefährliche Fehler zu vermeiden. Hilfestellung sowie Anleitung zur Vorgehensweise im konkreten Schadensfall können der Richtlinie VDI 3822 entnommen werden.

1 Scope

The primary aim of this guideline is to provide information to help explain the causes of failure. With regard to quality assurance measures in the manufacturing chain, from the technical designer to the galvaniser, the guideline may also help prevent costly and sometimes dangerous errors occurring. Support and guidance on dealing with actual examples of failure can be found in guideline VDI 3822.