

Werner Katzung, Renate Rittig und Andreas Gelhaar, Leipzig

● Hartzinkbildung: Einfluß des Eisengehaltes im Flußmittel

Sonderdruck aus »Metalloberfläche«, 48. Jahrgang 1994/7

Bericht Nr. 127
des Gemeinschaftsausschuß Verzinken e.V.

Hartzinkbildung:

Werner Katzung, Renate Rittig und Andreas Gelhaar, Leipzig

Einfluß des Eisengehaltes im Flußmittel

Die Radiotracer-Technik, das Einsetzen radioaktiver Indikatoren, bietet eine elegante Möglichkeit, den durch eingeschlepptes Eisenchlorid verursachten Anteil an Hartzink zu bestimmen.

Hard Zinc Formation: *Influence of iron contents in flux. The radiator technique, using radioactive indicators, is an elegant option to assess precisely the percentage of dragged-in ferric chloride in the formation of hard zinc.*

Hartzink ist eine aus der Reaktion des Eisens mit dem Zink in der Schmelze entstehende Eisen-/Zinklegierung. Die Zusammensetzung der Legierung hinsichtlich des Fe- und Zn-Anteils ist abhängig von den die Reaktionskinetik beeinflussenden Bedingungen in der Schmelze.

Für das in den Verzinkereien beim Verzinkungsprozeß anfallende Hartzink FeZn_x kann davon ausgegangen werden, daß 1 g Fe circa 25 g bis 30 g Zn bindet, also die Anzahl der an Fe gebundenen Zn-Atome circa 20 bis 25 beträgt. Die Hartzinkbildung im Verzinkungsprozeß resultiert aus der Reaktion des schmelzflüssigen Zinks mit:

- der Stahloberfläche bei der Ausbildung des Zinküberzuges, wobei mehr oder weniger große Anteile der Legierungsphase in die Zinkschmelze abschwimmen,
- dem Kesselwerkstoff aus Stahl mit gleichem Reaktionsmechanismus wie bei der Überzugsbildung auf den Werkstücken und
- dem aus dem Flußmittel mit dem Verzinkungsgut eingetragenen Eisenchlorid.

In der Praxis liegen deshalb stets eisengesättigte Zinkschmelzen vor. Der direkte beziehungsweise indirekte kontinuierliche Eintrag von Eisen in die Zinkschmelze führt zu einer Übersättigung. Die Wiederherstellung des Gleichgewichtes erfolgt durch Entfernung überschüssigen Eisens in Form ausfallenden Hartzinks.

Bei näherer Betrachtung des Bildungsmechanismus von Hartzink muß man feststellen, daß dem Verzinker wenig Spielraum gegeben ist, diese unerwünschte Reaktion zu beeinflussen. Wenn man voraussetzen darf, daß die Verzinkungsbedingungen hinsichtlich Beheizung des Kessels, Schmelztemperatur und Tauchdauer dem Kenntnisstand entsprechend optimal gehalten werden, bleibt ihm als

beeinflussbare Größe im wesentlichen nur, den aus dem Eisenchloridgehalt des Flußmittels in die Zinkschmelze mit dem Verzinkungsgut eingetragenen Eisenanteil so niedrig wie möglich zu halten. Das kann erfolgen durch:

- intensiveres Spülen der Werkstücke nach dem Entfetten und Beizen,
- Ausfällen der Eisenionen nach Oxidation von Fe^{2+} zu Fe^{3+} sowie
- kontinuierliche Entfernung der Eisenionen durch Ionenaustauscher-Behandlung.

Alle diese Maßnahmen sind durch zusätzliche Aufwendungen mit mehr oder weniger großem Einfluß auf das betriebswirtschaftliche Gesamtergebnis verbunden.

Es war bisher mit befriedigender Sicherheit nicht möglich, anzugeben, wie groß der Anteil des eingeschleppten Eisenchlorids an der Hartzinkbildung ist und ob die Verzinkungsbedingungen – speziell die Temperatur der Schmelze – Einfluß auf die Hartzinkbildung aus Eisenchlorid und Zinkschmelze nehmen.

Untersuchungen, die Rolle des Eisens im gesamten Verzinkungsprozeß betreffend, stimmen in wichtigen Positionen mit in Detailuntersuchungen relativ genau bestimmbar Werten nicht überein, so daß auch die Gesamtaussage derartiger Eisenbilanzen in Frage gestellt werden muß.

So findet Köhler [1] aus Analysen der vom Verzinkungskessel stammenden Emissionen 0 bis 1,8% Eisen, was unter Berücksichtigung der Feststoff-Gesamtemission von circa 750 g/t Verzinkungsgut einen emittierten Eisenanteil von circa 4 g/t bis 8 g/t ergibt.

Nach einer von Hiscock [2] aufgestellten Gesamtbilanz beträgt der mit der Emission ausgetragene Eisenanteil 1000 g/t Verzinkungsgut.

Sjoukes [3] gibt in der von ihm erstellten Gesamtbilanz für Eisen, das mit dem Flußmittel in die Schmelze

eingetragen wird, und für Eisen, das durch Emission wieder ausgetragen wird, einen gleichgroßen Wert von 200 g/t bis 1000 g/t Verzinkungsgut an.

Da der mit den Emissionen aus dem Prozeß ausgetragene Anteil Eisen an der Hartzinkbildung nicht beteiligt ist, ergeben sich in beiden Bilanzen für den Einfluß des Eisengehaltes im Flußmittel auf die Hartzinkbildung Werte, die unter Berücksichtigung des von Köhler in der Emission für Eisen gefundenen Wertes nicht stimmen können.

In jüngster Zeit berichteten Groisböck und Enöckl [4], daß das mit dem Flußmittel in den Verzinkungsprozeß eingetragene Eisen im Rahmen der Gesamteisenbildung anteilig an der Bildung von Hartzink (68%), Zinkasche (14%), Zinküberzug (17%) und Hartzinckpickel (1%) beteiligt ist.

Der Ansatz unserer Arbeiten war es, die Rolle des mit dem Flußmittel in die Zinkschmelze eingetragenen Eisenchlorids im Verzinkungsprozeß näher zu untersuchen.

Untersuchungsmethode

Es war erforderlich, eine Methode zu finden, die es mit befriedigender Genauigkeit erlaubt, das mit dem Flußmittel in die Schmelze eingetragene Eisen in den einzelnen Stufen des Verzinkungsprozesses, also Überzugsbildung, Hartzinkbildung, Zinkaschebildung und Emission wiederzufinden, quantitativ zu bestimmen und zu bilanzieren.

Das dabei zu lösende Hauptproblem bestand darin, daß nur eine solche Analysenmethode geeignet ist, mit deren Hilfe das aus dem Eisenchlorid stammende Eisen von dem durch andere Prozeßteilnehmer in die Schmelze eingetragenen Eisen unterscheidbar ist, ohne die im Verzinkungsprozeß üblicherweise ablaufenden Reaktionen zu verändern oder zu beeinflussen.

Mit noch vertretbarem Aufwand und gleichzeitig hoher Nachweisempfindlichkeit und vor allem der Ausführbarkeit im Rahmen eines technischen Prozesses erwies sich dafür die Radiotracer-Technik als geeignet.

Die Radiotracer-Technik, das heißt der Einsatz radioaktiver Indikatoren, ist eine elegante Methode, Stoffströme und deren zeitliche und räumliche Verteilung in technischen und natürlichen Systemen zu charakterisieren. Infolge der hohen Nachweisempfindlichkeit der Kernstrahlung bei gleichzeitig gegebener hoher Selektivität besteht der

Vorteil dieser Methode darin, Untersuchungen zerstörungsfrei an technischen Systemen ohne wesentliche Eingriffe in das Betriebsregime ausführen zu können.

Die Nachweisempfindlichkeit für radioaktive Nuklide ist grundsätzlich größer als die jeder anderen analytischen Methode. Hohe Selektivität wird durch Markierung erreicht.

Hierbei wird ein Element in einer Verbindung durch ein radioaktives Isotop ersetzt.

Da alle Isotope eines chemischen Elementes gleich reagieren, nimmt das zugesetzte Isotop genau anteilmäßig am Reaktionsweg teil, den das Element durchläuft [5].

Die Radiotracer-Untersuchungen im Rahmen unserer Arbeiten wurden mit dem Isotop Fe^{59} in Form des Chlorids in 0,1 N HCl ausgeführt.

Ausführen der Versuche

Für die Versuche wurden zwei Stahlsorten unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung, Materialdicke und Oberflächentopographie eingesetzt (Tabelle 1). Dadurch sollte gesichert werden, daß darauf zurückzuführende Einflüsse auf das Ergebnis erkannt und richtig zugeordnet werden können.

Durch Verwendung eines Flußmittels mit stark differierendem Eisengehalt sollte ermittelt werden, ob die Eisenkonzentration des Flußmittels Einfluß auf die Umsatzgrößen im Zinkbad hat und im speziellen bei Eintrag größerer Flußmittelmengen beziehungsweise eisenreicherem Flußmittel

der Eisenanteil in der Emission beeinflußt wird. Die Flußmittelzusammensetzung zeigt Tabelle 2.

Die Vorbehandlung der Proben erfolgte durch Beizen in zehnpromentiger HCl mit einem Eisengehalt von 20 g/l bei 25°C circa 30 Minuten. Es wurde unter fließendem Wasser gespült. Die Expositionszeit im Flußmittelbad bei 25°C betrug 60 Sekunden. Getrocknet wurde 10 Minuten bei 80° bis 120°C.

Die Verzinkung erfolgte im Graphittiegel mit 210 kg Zinkschmelze. Die Zinkschmelze war Fe- und Pb-gesättigt, der Al-Gehalt betrug 10⁻⁴%. Es wurden bei 430°C, 450°C und 465°C Schmelzetemperatur je fünf Proben für jede Flußmittelzusammensetzung und Stahlsorte zwei Minuten verzinkt.

Die Versuche wurden mit dem niedrigsten Eisengehalt im Flußmittel und bei einer Schmelzetemperatur von 430°C begonnen. Dabei erfolgte das Verzinken beider Stahlsorten hintereinander, wonach die gebildete Asche abgezogen und deren Aktivität gemessen wurde.

Um den Nullwert der durch den Versuch in die Schmelze eingebrachten Aktivität bestimmen zu können, wurden nochmals von jeder Stahlsorte fünf Probebleche, die in einem isotonenfreien Flußmittel vorbehandelt waren, verzinkt.

Dieser Versuchsablauf wurde bei 450°C und 465°C Schmelzetemperatur sowie mit den in den höher eisenhaltigen Flußmitteln 2 und 3 vorbehandelten Proben wiederholt.

Während des gesamten Versuchsablaufes wurde die beim Verzinken auftretende Emission mit Hilfe eines Szintillationsdetektors überwacht, um auch hier gegebenenfalls aus dem Flußmittel resultierende Fe-Anteile aufspüren zu können.

Die Messung der Aktivität der gefluxten Probebleche, der verzinkten Probebleche und der Zinkasche erfolgte an einem Kernstrahlungsmeßplatz 20046. Als Detektor diente eine Szintillationsmeßsonde VA-S-968 mit NaJ-Szintillator von 50 mm Durchmesser. Die Meßdauer betrug jeweils 10 Sekunden mit fünf Wiederholungen.

Die quantitative Bestimmung der Fe-Anteile aus dem Flußmittel in den einzelnen Prozeßstufen erfolgt aus der Differenz der gemessenen Aktivität zu der insgesamt mit dem jeweiligen Probeblech über das Flußmittel eingetragenen Aktivität.

Die Messung der Aktivität der Schmelze und damit die Direktbestimmung des aus dem Flußmittel in der

Tabelle 1. Charakterisierung der Probebleche

	Stahl 1	Stahl 2
Abmessung [mm]	100 × 50	
Blechedicke [mm]	6	0,7
Si-Gehalt [%]	0,025	0,35
P-Gehalt [%]	0,011	0,018
Oberfläche	rauh	glatt
Flußmitteleintrag [ml/m ²]	30	16

Tabelle 2. Flußmittelzusammensetzung

Flußmittel	1	2	3
Zn Cl ₂ / NH ₄ Cl [g/l]	200		
Fe Cl ₂ [g/l]*	0,1	30	60

* Dotierung mit Fe^{59} in Form des Chlorids in 0,1 HCl

Schmelze verbleibenden Fe-Anteils war bei den aus Umweltschutz- und Arbeitssicherheitsgründen zu wählenden Versuchsbedingungen (geringe eingesetzte Aktivität bei verhältnismäßig großer Zinkmenge) nicht möglich. Da aber der in der Emission, in der Asche und in dem Zinküberzug befindliche Eisenanteil mit ausreichender Genauigkeit direkt ermittelt werden kann, kann der in der Zinkschmelze verbleibende Fe-Anteil aus der Differenz der Summe vorgenannter Eisenanteile zum Gesamteiseneintrag aus dem Flußmittel errechnet werden.

Bei bekanntem Eisengehalt M der Flußmittellösung und zugegebener Aktivität A des radioaktiven Isotops ergibt sich eine spezifische Aktivität des Flußmittels von

$$\text{spez. Aktivität des Flußmittels} = \frac{A}{M} \text{ [Bq/g]} \quad (1)$$

Nach dem Eintauchen des Probebleches in die Flußmittellösung haften an der Oberfläche Spuren des gelösten Eisenisotops. Die Intensität der von dem Probekörper ausgehenden Quantenstrahlung ist dabei der Menge des aus dem Flußmittel stammenden Eisens direkt proportional.

Aus der auf diese Weise bestimmten Aktivität A_H [Bq] des Probebleches und der bekannten spezifischen Aktivität A/M [Bq/g] des Flußmittels wird die Masse des anhaftenden Eisens aus der Beziehung

$$m_H = \frac{A_H \times M}{A} \text{ [g]} \quad (2)$$

bestimmt. Auf gleiche Weise wird nach dem Verzinken die Masse des im verzinkten Probeblech m_R befindlichen Eisens bestimmt. Der jeweils mit einem Probeblech in die Zinkschmelze eingetragene Eisenanteil ergibt sich aus der Differenz

$$m_Z = m_H - m_R \text{ [g]} \quad (3)$$

Versuchsergebnisse

Trotz kontinuierlicher Überwachung während des gesamten Versuchsablaufes

wurde kein meßbarer Hinweis auf radioaktive Bestandteile gefunden.

Daraus folgt, daß Eisen aus dem Flußmittel nicht oder nur in vernachlässigbar kleiner Menge mit der Emission aus der Zinkschmelze ausgetragen wird.

Die quantitative Bewertung der Meßergebnisse ist erschwert dadurch, daß der erforderliche Wert für die spezifische Aktivität der Zinkasche, der die Kenntnis der tatsächlichen Masse der Zinkasche voraussetzt, also der Wert ohne die in der Asche enthaltene Masse Zink, nur fehlerhaft ermittelt werden kann. Da durch das in der Zinkasche enthaltene Zink keine meßbare Erhöhung der Aktivität erfolgen kann, ist der aus der gemessenen Aktivität ermittelte Wert für den Eisenanteil in der Zinkasche um den Faktor Masse Asche gesamt/Masse Asche zu klein.

$$A_{\text{Asche}} = \frac{M_{\text{Asche}} + \text{Zn}}{M_{\text{Asche}}} \times A_{\text{gemessen}} \quad (4)$$

Die gefundenen Werte für den Eisenanteil aus dem Flußmittel in der Zinkasche plus dem Zink betragen 1 % bis 3 %. Reine Asche, die in der Praxis auch nicht anfällt, enthält mit Sicherheit ≤ 5 % Fe aus dem Flußmittel.

Aus der mit großer Genauigkeit ermittelbaren Differenz der Aktivität der Probebleche nach der Flußmittelbehandlung und nach dem Verzinken resultieren zwei Informationen: Anteil des Eisens aus dem Flußmittel im Zinküberzug und Anteil des Eisens, das insgesamt in die Schmelze eingetragen wird als Differenz des Eisenanteils im Zinküberzug zu 100. Für den Eisenanteil im Zinküberzug wurden in den Versuchen die in Tabelle 3 aufgeführten Werte ermittelt.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse ist zu erkennen, daß insbesondere für Stahl 2 (0,35 % Si, 0,018 % P (glatte Oberfläche), Flußmittelbelegung: 16 ml/m²) die Werte größeren Schwankungen unterliegen. Das kann nur zurückgeführt werden auf den relativ kleinen Flußmitteleintrag mit circa 50 % gegenüber Stahl 1 (0,025 % Si, 0,011 % P (raue Oberfläche), Flußmittelbelegung: 30 ml/m²) und die damit

Tabelle 4. Eisenbilanz des Eisens aus dem Flußmittel im Verzinkungsprozeß

	Eisen [%]
Zinküberzug	20 ... 25
Zinkschmelze = Hartzink	70 ... 80
Zinkasche	1 ... <5
Emission	0 ... 1

verbundene zunehmende Meßunsicherheit.

Andererseits ist aber aus den oben genannten Werten, die sich als Durchschnittswert aus je fünf Einzelwerten ergeben, kein Einfluß der Temperatur der Schmelze beziehungsweise der Eisenkonzentration des Flußmittels auf den im Zinküberzug wiedergefundenen Eisenanteil aus dem Flußmittel und damit auch auf den in der Schmelze verbleibenden Anteil ableitbar.

Deshalb ist es zulässig, diese Werte als Durchschnittswert aus dem Ergebnis der Einzelwerte der Probebleche abzuleiten.

Danach ergibt sich für den Eisenanteil aus dem Flußmittel im Zinküberzug circa 23 % und in der Schmelze circa 77 %.

Der tatsächlich in der Schmelze zur Hartzinkbildung beitragende Eisenanteil aus dem Flußmittel beträgt nach Abzug des in der Asche wiedergefundenen Anteils von 1... < 5 % circa 75 %.

In Auswertung der Versuchsergebnisse kann für das durch das Flußmittel in den Verzinkungsprozeß eingetragene Eisen die in Tabelle 4 aufgeführte Bilanz erstellt werden.

Es wurde festgestellt, daß diese Werte unabhängig von der Konzentration des Eisens im Flußmittel und der Temperatur der Zinkschmelze sind.

Dieses Ergebnis wurde auf konventionelle Weise dadurch überprüft, indem Flußmittelsalzgemische mit unterschiedlichem Gehalt an FeCl₂ x H₂O in Form von 20 g Portionen mittels Tauchglocke in die Zinkschmelze im Graphittiegel eingebracht wurden und die gebildete Masse Hartzink ermittelt wurde. Der Eisengehalt im Flußmittel entsprach dabei größenordnungsmäßig dem, der mit dem Flußmittel von 1 t Verzinkungsgut in die Zinkschmelze eingetragen wird.

Es wurde ermittelt, daß unabhängig von der eingebrachten Eisenkonzentration des Flußmittels das Eisen zu 96 % bis 99 % in Hartzink umgesetzt wird.

Dieser Wert stimmt sehr gut mit der durch Radiotracer-Technik gefundenen Eisenverteilung im Verzinkungsprozeß überein, wenn man den im

Tabelle 3. Anteil des Eisens aus dem Flußmittel im Zinküberzug

Fe [g/l] im Flußmittel	Fe-Anteile [%] aus Flußmittel im Zinküberzug bei					
	430 °C		450 °C		465 °C	
	Stahl 1	Stahl 2	Stahl 1	Stahl 2	Stahl 1	Stahl 2
0,1	27,1	31,9	17,5	21,6	29,7	26,0
30	24,1	20,4	24,8	30,4	20,0	41,1
60	22,3	5,6	14,8	10,6	32,3	12,3

Zinküberzug und der Zinkasche bestimmten Eisenanteil von insgesamt circa 20 % bis 25 % in Abzug bringt.

Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Abgeleitet aus unseren Versuchsergebnissen, insbesondere aus der mit guter Genauigkeit mittels Radiotracer-Technik erstellten Bilanz des mit dem Flußmittel in den Verzinkungsprozeß eingebrachten Eisens, muß festgestellt werden, daß die von Hiscock [2] und Sjoukes [3] erstellten Gesamtbilanzen durch hauptsächlich Ausweis deutlich zu großer Eisenwerte in der Emission den in der Schmelze verbleibenden Eisenanteil zu niedrig ansetzen.

Unter Berücksichtigung, daß bei unseren Untersuchungen des Eisengehaltes in den Emissionen nur der aus dem Flußmittel resultierende Anteil gefunden werden konnte und mit 0 % festgestellt wurde, können die von Köhler in 24 Filterstäuben bestimmten Eisenwerte von 0 % bis 1,8 % [1] bestätigt werden.

Die von Groisböck und Enöckl [4] erstellte Gesamteisenbildung auf der Grundlage einer Analyse einer Verzinkerei im praktischen Betrieb kommt im wesentlichen zu vergleichbaren Ergebnissen. Bestehende Abweichungen gehen zurück auf Unterschiede in den Eisenanteilen der Zinkasche. Ursache dafür ist mit großer Wahrscheinlichkeit zum einen die im praktischen Betrieb auftretende große Schwankungsbreite der anfallenden Menge Zinkasche in Abhängigkeit vom Durchsatz, der Zinkbadoberfläche und der Unterschiedlichkeit des Verzinkungsgutes. Zum anderen die daraus resultierende unterschiedliche Zusammensetzung der Zinkasche.

So gibt Lorber [6] im Ergebnis von Zinkascheanalysen in Abhängigkeit

vom Zinkgehalt der Asche für Eisen Werte von 0,1 % bis 25 % an.

Insofern war es uns zwar relativ genau möglich, den prozentualen Anteil des Eisens aus dem Flußmittel in der Zinkasche anzugeben, die Gesamteisenbilanz des praktischen Prozesses wird aus vorgenannten Gründen jedoch durch die variablen Eisenanteile in der Zinkasche beeinträchtigt.

Da es gelang nachzuweisen, daß circa 75 % des aus dem Flußmittel in die Schmelze eingetragenen Eisens zur Hartzinkbildung beiträgt, sind nunmehr Verlustberechnungen sehr genau möglich.

Es wurde errechnet, daß aus einem Eisengehalt von 10 g/l im Flußmittel bei 1 t Verzinkungsgut mit einer Oberfläche von 50 m² eine Hartzinkmenge von etwa 600 g resultiert.

In Deutschland wurden 1992 circa 1,3 Mio t Gut verzinkt. Unter Berücksichtigung des Wertverlustes aus Zinkpreis/Hartzinkeriös von 30 % entsteht je Tonne produzierten Hartzinks ein Wertverlust von 570 Mark.

Betrachtet man einen Eisengehalt von 10 g/l als anzustrebende Größe und vergleicht mit dem tatsächlichen Durchschnittswert aller Verzinkereien, der circa 35 g/l beträgt, errechnet sich für die deutsche Verzinkungsindustrie für 1992 ein Wertverlust von über 1 Mio DM.

Da die Reduzierung des Eisengehaltes im Flußmittel ohne zusätzliche Aufwendungen nicht möglich ist, muß je nach den spezifischen Gegebenheiten der Verzinkerei über eine Kosten-Nutzen-Rechnung die wirtschaftlichste Verfahrensweise bestimmt werden. Dabei sollten weitere Vorteile bei Senkung des Hartzinkanfalls, wie Reduzierung von Nacharbeitskosten (Verminderung von Hartzinkpickeln) beziehungsweise Kosteneinsparung durch Verringerung der Intervalle des Hartzinkziehens berücksichtigt werden.

Das Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft im Rahmen des AiF-Themas 287 D gefördert.

Wir danken dem Gemeinschaftsausschuß Verzinken e. V. (GAV), Düsseldorf, für seine Unterstützung bei der Koordinierung, Betreuung und Ausführung. Für die Ausführung der Radiotracer-Untersuchungen danken wir der Universität Leipzig, Bereich Geowissenschaften, Abteilung Geochemie.

Literatur

- 1 Köhler, R. BFI Betriebstechnik, Düsseldorf: Persönliche Mitteilung an Gemeinschaftsausschuß Verzinken, Düsseldorf
- 2 Hiscock, S.A. The sources and control of dross formation in hot-dip galvanizing, Research Report A 1041, The British Non Ferrous Metals Research Association, London 1954
- 3 F. Sjoukes, Baunnens Groep BV, Maarsse, Niederlande: Die Rolle des Eisens beim Feuerverzinken, Beitrag zur 11. Internationalen Verzinkertagung, Oktober 1976, Madrid
- 4 Groisböck, F. und Enöckl, W., Österreich: Feuerverzinken: Eisenbilanz für das Zinkbad, Metalloberfläche 47 (1993) 12 S. 605
- 5 Kupsch, Schulze und Mitarbeiter, Universität Leipzig, Bereich Geowissenschaften, persönliche Mitteilung an Institut für Stahlbau Leipzig GmbH
- 6 Lorber, G. Verarbeitung von Zinkaschen, Metall 5 (1951) 14/14 S. 291

Die Autoren dieses Beitrags

Dr. rer. nat. Werner Katzung, geboren 1940, studierte Chemie an der Universität Leipzig, wo er 1969 promovierte. Er ist Leiter der Abteilungen Korrosions- und Brandschutz und Geschäftsführer des Instituts für Stahlbau (ISL), Leipzig.

Dipl.-Ing. Renate Rittig, Jahrgang 1944, studierte Chemie an der Ingenieurschule für Chemie, Berlin, und ist Mitarbeiterin in der Abteilung Korrosionsschutz am ISL.

Dipl.-Ing. Andreas Gelhaar, Jahrgang 1955, studierte Metallurgie- und Werkstofftechnik/Gießereitechnik an der Bergakademie Freiberg. Er ist als Mitarbeiter in der Abteilung Korrosionsschutz des ISL tätig. (15472)