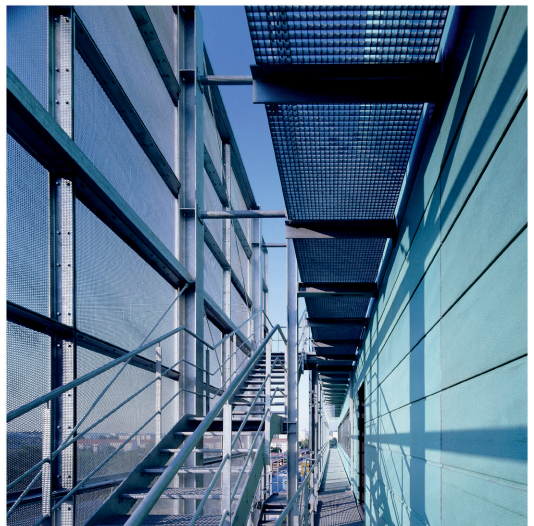
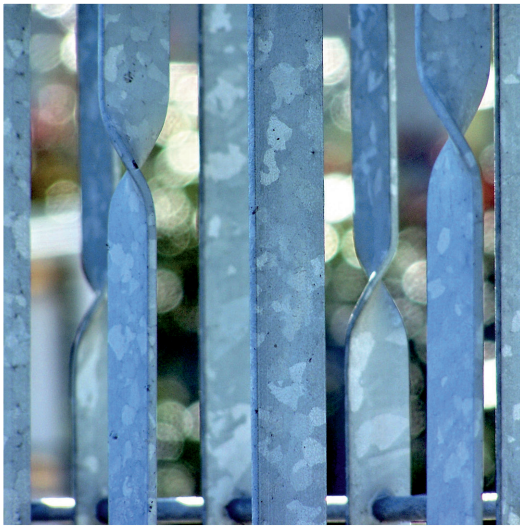


Wolf-Dieter Schulz  
Marc Thiele

# Feuerverzinken von Stückgut

Werkstoffe – Technologien – Schichtbildung – Eigenschaften – Fehler



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	11
<b>2</b>	<b>Die Werkstoffe Stahl und Zink, Flussmittel</b>	12
2.1	Bezeichnung der Metalle nach europäischen Normen	13
2.1.1	Stahl	13
2.1.2	Gusseisen	18
2.1.3	Zink	18
2.2	Eigenschaften der Metalle Eisen (Fe) und Zink (Zn) und der Legierungen FeZn	19
2.2.1	Werkstoffaufbau	20
2.2.2	Legierungselemente im Stahl	24
2.2.2.1	Silizium, Phosphor, Mangan und Aluminium	24
2.2.2.2	Wasserstoff	28
2.3	Zinkschmelzen	30
2.3.1	Konventionelle Zinkschmelzen	31
2.3.2	Legierte Zinkschmelzen	31
2.4	Flussmittel	37
2.4.1	Basis $\text{ZnCl}_2/\text{NH}_4\text{Cl}$	38
2.4.2	Basis $\text{ZnCl}_2/\text{NaCl}/\text{KCl}$	41
<b>3</b>	<b>Technologie der Feuerverzinkung</b>	42
3.1	Verfahrenstechnische Varianten	42
3.1.1	Kontinuierliches Feuerverzinken von Bandstahl und Stahldraht	42
3.1.2	Stückverzinken	45
3.1.3	Sonderverfahren	45
3.2	Technologische Besonderheiten des Stückverzinkens	46
<b>4</b>	<b>Schichtwachstum</b>	51
4.1	Konventionelle Zinkschmelze	51
4.1.1	Untersuchungen	55
4.1.2	Einfluss der Verzinkungstemperatur bis 550 °C und der Tauchdauer	56

4.1.3	Einfluss einer Wärmebehandlung der Stähle vor dem Verzinken . . . . .	64
4.1.4	Verzinken von elektrochemisch abgeschiedenen Reineisenschichten . . . . .	67
4.1.5	Verzinkungsverhalten von Stahl mit Wasserstoff-Traps (Emaillierstahl) . . . . .	68
4.1.6	Verzinken bei 580 °C bis 620 °C . . . . .	69
4.1.7	Weitere Untersuchungen . . . . .	69
4.2	Legierte Zinkschmelzen . . . . .	72
<b>5</b>	<b>Schichtaufbau . . . . .</b>	<b>77</b>
5.1	Konventionelle Zinkschmelze . . . . .	77
5.2	Legierte Zinkschmelzen . . . . .	87
5.3	Schichtaufbau auf Verzinkungskesseln . . . . .	89
<b>6</b>	<b>Wasserstoffbestimmung in Baustählen . . . . .</b>	<b>91</b>
<b>7</b>	<b>Der Verzinkungsvorgang in konventionellen Zinkschmelzen zwischen 435 °C und 620 °C . . . . .</b>	<b>95</b>
7.1	Gesamtübersicht . . . . .	95
7.2	Einzelne Temperaturbereiche . . . . .	96
7.2.1	Normaltemperaturbereich zwischen 435 °C und 490 °C . . . . .	96
7.2.2	Temperaturbereich zwischen 490 °C und 530 °C . . . . .	103
7.2.3	Hochtemperaturbereich zwischen 530 °C und 620 °C . . . . .	103
<b>8</b>	<b>Einfluss der Schichtbildung auf ausgewählte Schichteigenschaften . . . . .</b>	<b>106</b>
8.1	Haftfestigkeit . . . . .	106
8.1.1	Überzüge aus unlegierten ZnPb-Schmelzen . . . . .	106
8.1.2	Überzüge aus legierten Zinkschmelzen . . . . .	110
8.2	Flüssigmetallinduzierte Spannungsrisskorrosion (LME) . . . . .	110
8.3	Ausgasungen aus Zinküberzügen . . . . .	120
8.4	Zinkblumen . . . . .	123
<b>9</b>	<b>Beispiele aus der Industrieberatung . . . . .</b>	<b>126</b>
9.1	Aufbau und Struktur von Zinküberzügen . . . . .	127
9.1.1	Spaltbildung zwischen Stahlgrundwerkstoff und Zinküberzug . . . . .	127
9.1.2	Bleianreicherungen . . . . .	129
9.1.3	Schwundrisse im Zinküberzug . . . . .	131
9.1.4	Brennschnittflächen . . . . .	132
9.1.5	Zinnanreicherungen zwischen $\zeta$ - und $\eta$ -Phase . . . . .	134
9.1.6	Mischstrukturen . . . . .	136

---

9.1.6.1	Sandelin-Gefüge neben Niedrigsilizium-Gefüge auf Niedrigsilizium-Stahl als Folge eines grenzwertigen Siliziumgehaltes im Stahl . . . . .	138
9.1.6.2	Sandelin-Gefüge neben Niedrigsilizium-Gefüge auf Niedrigsilizium-Stahl als Folge eines erhöhten Phosphorgehaltes . . . . .	139
9.1.6.3	Mischgefüge auf Sebisty-Stahl . . . . .	140
9.1.6.4	Verstärktes Schichtwachstum auf Niedrigsilizium-Stahl auf mechanisch beeinflussten Oberflächenbereichen . . . . .	142
9.1.6.5	Verstärktes Schichtwachstum auf mechanisch erzeugten Schnittflächen (keine Brennschnittkanten) bei Niedrigsilizium-Stahl . . . . .	144
9.1.7	Schichtaufbau auf gestrahlten Stahloberflächen . . . . .	145
9.2	Fehler und Besonderheiten bei der Schichtbildung . . . . .	147
9.2.1	Unverzinkte Stellen (schwarze Stellen) . . . . .	147
9.2.2	Hohlräume und Gardinenbildung . . . . .	149
9.2.3	Risse und Abplatzungen . . . . .	151
9.2.4	Fehler im Zusammenhang mit Zinn-, Bismut- und Bleizusatz zur Zinkschmelze . . . . .	155
9.2.4.1	Flüssigmetallinduzierte Spannungsrisskorrosion (LME) . . . . .	155
9.2.4.2	Graue, unterschiedlich dicke Überzüge trotz Zinnzusatz . . . . .	157
9.2.4.3	Aufspaltung an den Phasengrenzen der $\delta_1$ -Phase . . . . .	158
9.2.5	Versprödung innerer Phasen . . . . .	160
9.2.6	Pickel im Überzug als Folge von Hartzinkeinlagerungen . . . . .	162
9.2.7	Blasen zwischen Stahloberfläche und Zinküberzug . . . . .	163
9.2.8	Abplatzungen durch unsachgemäßes Sweepen . . . . .	165
9.2.9	Ausgasen von Zinküberzügen . . . . .	167
<b>10</b>	<b>Vor- und Nachteile ausgewählter Zinkschmelzen . . . . .</b>	<b>169</b>
<b>11</b>	<b>Korrosionsschutz durch Zinküberzüge . . . . .</b>	<b>175</b>
11.1	Allgemeines . . . . .	175
11.2	Korrosion an der Atmosphäre . . . . .	180
11.3	Korrosion in Wässern . . . . .	183
11.3.1	Trinkwasser . . . . .	183
11.3.2	Meerwasser . . . . .	185
11.3.3	Brauchwasser . . . . .	186

11.4 Korrosion in Erdböden . . . . .	187
11.5 Korrosion im Bauwesen und Beton . . . . .	188
11.6 Korrosion in der Landwirtschaft . . . . .	189
11.7 Korrosion in nichtwässrigen Medien . . . . .	191
11.8 Korrosionsprüfung . . . . .	191
11.9 Duplexsysteme . . . . .	192
<b>12 40 Fragen und 40 Antworten . . . . .</b>	<b>193</b>
<b>13 Literatur . . . . .</b>	<b>212</b>
<b>14 Sachwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>219</b>
<b>Anzeigenteil . . . . .</b>	<b>233</b>