

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Begriffe	1
1.2	Namen und geschichtliche Entwicklung	2
2	Wissenschaftliche Grundlagen	7
2.1	Die Metalle und ihr Verhalten	8
2.1.1	Eisen und seine Systeme	8
2.1.1.1	Fe	8
2.1.1.2	System Fe-C	8
2.1.1.3	System Fe-C-O	10
2.1.1.4	System Fe-C-Si	11
2.1.1.5	System Fe-C-Si-P	12
2.1.1.6	Wirkung von Mangan, Zirkon und Schwefel	13
2.1.1.7	Wirkung von Kupfer	13
2.1.1.8	Wirkung von Aluminium, Silicium, Titan, Vanadium und Zirkonium	13
2.1.1.9	Wirkung von Stickstoff und Kohlenoxid	15
2.1.1.10	Fe-H ₂ O; Verhalten von Wasserstoff	15
2.1.2	Aluminium und seine Legierungen	23
2.1.3	Kupfer, Silber, Gold und ihre Legierungen	24
2.1.4	Oxidation der Metalloberfläche	26
2.1.5	Verformung	29
2.1.6	Alterung von Stahl	35
2.1.7	Vorbehandlung der Metalloberfläche	35
2.1.7.1	Entfetten	35
2.1.7.2	Beizen	36
2.2	Das Email	38
2.2.1	Aufbau eines Emails	38
2.2.2	Vorgänge beim Einschmelzen der Rohstoffe	39
2.2.3	Schmelzen und Kristallisieren	42
2.2.3.1	Gleichgewichtslehre	43
2.2.3.2	Wichtige Ein- und Mehrstoffsysteme	44
2.2.4	Glasstruktur	49
2.2.4.1	Grundzüge der Kristallechemie	50
2.2.4.2	Von der Kristall- zur Glas- und Emailstruktur	57
2.2.4.3	Struktur von Kieselglas und Silicatgläsern	58
2.2.4.4	Struktur von P ₂ O ₅ - und B ₂ O ₃ -Gläsern	65
2.2.4.5	Fremdanionen	67

2.2.5	Struktur und Eigenschaften	67
2.2.5.1	Zähigkeit	67
2.2.5.2	Dichte und Wärmeausdehnung	69
2.2.5.3	Chemische Widerstandsfähigkeit	69
2.2.5.4	Oberflächenspannung, Benetzung	75
2.2.5.5	Mechanische Festigkeiten, Bruchdehnung	76
2.2.5.6	Härte	81
2.2.5.7	Diffusion	83
2.2.5.8	Elektrische Eigenschaften	85
2.2.5.9	Trübung	88
2.2.5.10	Färbung	92
2.2.5.11	Gase im Glas	97
2.2.6	Trockenes Mahlen	98
2.2.7	Naßmahlen und Verschlickern	100
2.2.7.1	Physikalische Vorgänge an den Email- und Quarzkörnchen	100
2.2.7.2	Chemische Vorgänge beim Mahlen	100
2.2.7.3	Vorgänge beim Verschlickern	104
2.2.7.4	Rheologie des Schlickers	108
2.2.8	Erhitzungsverhalten von Tonen	110
2.3	Verbindung von Email mit Metall	111
2.3.1	Auftragen des Emails	111
2.3.2	Trocknen des Emailauftrages	112
2.3.3	Brennverlauf eines Emails	113
2.3.4	Oberflächenspannung, Grenzflächenspannung, Benetzung	115
2.3.5	Haftung	119
2.3.5.1	Haftung an Stahlblech	119
2.3.5.2	Haftung an Gußeisen	128
2.3.5.3	Haftung auf Aluminium	129
2.3.5.4	Haftung an Kupfer und Edelmetallen	130
2.3.5.5	Haftung an Sonderstählen	131
2.3.5.6	Haftung Email/Kunststoff	131
2.3.6	Ausdehnungsverhalten, Spannungen	132
2.3.6.1	Berechnung der Spannungen	133
2.3.6.2	Plastische Verformung des Metalls	139
2.3.6.3	Ausdehnungskoeffizient α_K und Temperaturdifferenz $ET - RT$	140
2.3.6.4	Spannungsabbau	141
2.3.6.5	Spannungen durch äußere Beanspruchung	142
2.3.6.6	Weitere Einflüsse auf den Spannungszustand	142
2.3.7	Inhomogenität einer Emailschicht	143
3	Grundzüge der Emailtechnologie. Allgemeiner Teil	144
3.1	Metalle	144
3.2	Emails	144
3.2.1	Emailrohstoffe	144
3.2.1.1	Resistenzmittel I	145
3.2.1.2	Resistenzmittel II	146
3.2.1.3	Flußmittel	147
3.2.1.4	Oxidationsmittel	149
3.2.1.5	Haftstoffe	149
3.2.1.6	Trübungsmittel	150
3.2.1.7	Farbstoffe	153
3.2.1.8	Hilfsstoffe	157

Inhaltsverzeichnis	IX	
3.2.2	Lagerung der Rohstoffe	158
3.2.3	Herstellung der Emails	159
3.2.3.1	Abwägen und Mischen der Rohstoffe	159
3.2.3.2	Schmelzöfen	159
3.2.3.3	Erschmelzen der Emails	162
3.2.3.4	Schmelzbeschleunigung	162
3.2.3.5	Abbrand	163
3.2.3.6	Zubrand	164
3.2.3.7	Reduktionen	164
3.2.3.8	Beendigung und Ablassen der Schmelze	164
3.2.3.9	Wasser	165
3.2.3.10	Mahlen der Emails und Verschlickern	166
3.3	Emaillerverfahren	169
3.3.1	Auftragen	169
3.3.2	Trocknen des Emailauftrags	171
3.3.3	Aufbrennen der Emails	172
3.3.4	Dekorieren	183
3.3.5	Ausbessern	184
3.3.6	Entemaillieren	184
4	Grundzüge der Emailtechnologie. Spezieller Teil	185
4.1	Konventionelle Stahlblechemaillierung	185
4.1.1	Stahlblech	185
4.1.1.1	Emailgerechtes Konstruieren mit Stahlblech	191
4.1.1.2	Formgebung	191
4.1.1.3	Reinigung der Oberfläche	196
4.1.2	Emails für die konventionelle Emaillierung von Stahlblech	202
4.1.2.1	Grundemails	202
4.1.2.2	Weißemails	203
4.1.2.3	Farbemails	204
4.1.2.4	Säurefeste und hochsäurefeste Emails	206
4.1.2.5	Elektrotechnische Emails	206
4.1.2.6	Sonstige Emails	206
4.1.3	Konventionelles Emaillieren von Stahlblech	208
4.1.3.1	Auftragen und Rändern	208
4.1.3.2	Richten der emaillierten Gegenstände	209
4.1.3.3	Wasserstofffehler	210
4.2	Direkt-Stahlblechemaillierung	212
4.2.1	Stahlblech	213
4.2.1.1	Entfetten und Beizen	214
4.2.1.2	Vernickeln	215
4.2.2	Direktemails für Stahlblech	215
4.2.3	Direktemaillieren von Stahlblech	216
4.2.3.1	Konventionelles Auftragen und Trocknen	216
4.2.3.2	Elektrotauch-Auftragen	216
4.2.3.3	Pulverelektrostatisches Auftragen	218
4.2.3.4	Direktemaillieren mit vorbehandelten Stahlblechen	220
4.2.3.5	Aufbrennen des Emails	221
4.3	Zwei-Schicht-Ein-Brand-Emaillierung	221
4.4	Sonder-Stahlblechemaillierungen	222
4.4.1	Emaillierung von Apparaten für die chemische Industrie	222
4.4.2	Emaillierung von Warmwasserspeichern	227

4.4.3	Backofenemaillierung	228
4.4.4	Puderemaillierung auf Stahlblech	229
4.4.5	Tieftemperaturemaillierung	229
4.4.6	Hochtemperaturemaillierung	231
4.4.7	Flamm- und Plasma-gespritzte Überzüge	233
4.5	Gußesenemaillierung	233
4.5.1	Gußesen	234
4.5.1.1	Chemische Zusammensetzung und Gefüge	234
4.5.1.2	Emailgerechtes Konstruieren mit Gußesen	236
4.5.1.3	Formgebung	236
4.5.1.4	Vorbereitung des Gußesens zum Emaillieren	238
4.5.2	Emails für Gußesen	239
4.5.2.1	Guß-Naßemails	239
4.5.2.2	Guß-Puderemails	241
4.5.2.3	Majolikaemails	242
4.5.2.4	Mahlen der Emails	242
4.5.3	Emaillieren von Gußesen	242
4.5.3.1	Auftragen und Brennen	242
4.5.3.2	Kühlen	245
4.5.3.3	Säurefeste Emaillierung	246
4.5.3.4	Majolikaemaillierung	246
4.5.3.5	Entemaillieren von Gußemaillierungen	247
4.6	Emaillierung von Aluminium und seinen Legierungen	247
4.6.1	Aluminium und seine Legierungen	248
4.6.1.1	Formgebung	249
4.6.1.2	Vorbereitung zum Emaillieren	249
4.6.2	Emails für Aluminium	249
4.6.2.1	Zusammensetzung der Emails	249
4.6.2.2	Mahlen und Verschlickern	250
4.6.3	Emaillieren von Aluminium	250
4.6.3.1	Auftragen	250
4.6.3.2	Aufbrennen	250
4.6.3.3	Dekorieren	251
4.6.3.4	Sonstiges	251
4.7	Emaillierung von Magnesium und seinen Legierungen	251
4.8	Emaillierung von Halbedel- und Edelmetallen	252
4.8.1	Die Metalle und ihre Vorbereitung zum Emaillieren	252
4.8.2	Emails für Halbedel- und Edelmetalle	253
4.8.3	Emaillieren von Halbedel- und Edelmetallen	254
4.9	Umweltschutz	255
5	Emailtechnische Untersuchungen	257
5.1	Metalle	257
5.1.1	Stahlblech	257
5.1.1.1	Chemische Untersuchungen	257
5.1.1.2	Optische Untersuchungen	257
5.1.1.3	Mechanische Untersuchungen	258
5.1.1.4	Thermische Untersuchungen	258
5.1.1.5	Sonderuntersuchungen	259
5.1.1.6	Bäderkontrolle	260
5.1.2	Gußesen	260
5.1.2.1	Formen-Untersuchungen	260

5.1.2.2	Chemische Analyse des Gußeisens	262
5.1.2.3	Metallographische Untersuchungen	262
5.1.2.4	Mechanische und thermische Untersuchungen	262
5.1.2.5	Strahlmittel-Untersuchungen	262
5.1.3	Andere Metalle	263
5.2	Vom Rohstoff zum Email	263
5.2.1	Rohstoffe	263
5.2.2	Schmelzen	264
5.2.3	Granalien	264
5.2.4	Aus der Schmelze besonders hergestellte Proben	265
5.2.4.1	Chemische Untersuchungen	265
5.2.4.2	Mechanische Untersuchungen	265
5.2.4.3	Thermische Untersuchungen	265
5.2.4.4	Elektrische Untersuchungen	266
5.2.4.5	Optische Untersuchungen	267
5.2.5	Schlicker	267
5.2.6	Puder, Pulver	267
5.2.7	Emailauftrag	267
5.2.8	Brennen	268
5.3	Emaillierte Versuchsstücke oder Gebrauchsgegenstände	269
5.3.1	Chemische Untersuchungen	269
5.3.2	Mechanische Untersuchungen	271
5.3.3	Thermische Untersuchungen	273
5.3.4	Elektrische Untersuchungen	274
5.3.5	Optische Untersuchungen	274
5.3.6	Röntgenographische Untersuchungen	274
5.3.7	Akustische Untersuchungen	274
5.3.8.	Güte- und Prüfbestimmungen für emaillierte Verkehrszeichen	274
6	Anhang: Tabellen	275
Literaturverzeichnis		278
Sachverzeichnis		307