

Email und Emailliertechnik

2., überarbeitete Auflage

Mit 256 Abbildungen und
83 Tabellen



DEUTSCHER VERLAG
FÜR GRUNDSTOFFINDUSTRIE
LEIPZIG · STUTT GART

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung	13	3.	Grundlagen wesentlicher Struktur- Eigenschafts-Beziehungen in glasigen Materialien	32
1.1.	Entwicklung des Emails und Emaillierens	13	3.1.	Allgemeine Beziehungen	32
1.2.	Technische Bedeutung des Emails ..	14	3.2.	Struktureinflüsse auf physikalisch- mechanische Eigenschaften	33
1.3.	Zum Begriff des Emails und Emaillierens	14	3.2.1.	Dichte	33
1.4.	Erläuterung und notwendige Klärung von Begriffen	16	3.2.2.	Elastisches Verhalten	33
<hr/>			3.2.3.	Konstitution und Härte	34
	Allgemeine theoretische Grundlagen	20	3.3.	Beziehungen zwischen Struktur und thermomechanischen Eigenschaften	34
2.	Atomistische und thermodynamische Grundlagen des Emails	21	3.3.1.	Strukturabhängigkeit der Wärmeaus- dehnung	34
2.1.	Kristalliner und glasiger Zustand ...	21	3.3.2.	Zusammensetzungs- und Tempera- turabhängigkeit der Viskosität	35
2.1.1.	Allgemeine Atomistik der Kristalle und Gläser	21	3.3.3.	Einfluß der Zusammensetzung auf die Oberflächenspannung	36
2.1.2.	Strukturen natürlicher Ionengitter	23	3.4.	Strukturabhängigkeit von Transport- vorgängen in Glas und Email	36
2.1.3.	Struktur der Silicate	23	3.4.1.	Strukturabhängigkeit des Wärmetransports	36
2.1.4.	Glaszustand und Glasstruktur	24	3.4.2.	Strukturbeziehungen zur Diffusion ..	37
2.1.5.	Physikalisch-chemische Glas- bildungsbedingungen	26	3.4.3.	Zusammenhang zwischen Struktur und Stromtransport	37
2.1.6.	Temperatur-Eigenschafts- Beziehungen der Gläser	26	3.5.	Zusammenhang zwischen Konstitu- tion und emailtypischen optischen Eigenschaften	38
2.2.	Der spröde Körper	27	3.5.1.	Atomistische und Gefügeabhängig- keit von Trübung und Glanz	38
2.3.	Email im geschmolzenen Zustand	28	3.5.2.	Struktur und Farbe	39
2.4.	Grundlagen der Phasengleich- gewichte	28	3.6.	Strukturabhängigkeit des chemischen Angriffs	39
2.4.1.	Phasengleichgewichte im festen Zustand	28	3.6.1.	Säureangriff	40
2.4.2.	Heterogene Schmelzgleichgewichte ..	29	3.6.2.	Laugenangriff	40
2.5.	Kristallisation von Gläsern und Emails	31	3.6.3.	Wasserangriff	41

4.	Grundlagen der metallischen Grundwerkstoffe	42	6.2.	Grundemails	72
4.1.	Metallphysikalische Grundlagen	42	6.2.1.	Allgemeine Charakteristik	72
4.1.1.	Atomistik und Gefüge	42	6.2.2.	Grundemails für Stahlblech	73
4.1.2.	Plastisches Verhalten	44	6.2.3.	Grundemails für Gußeisen	74
4.2.	Grundzüge der Kaltverformung	44	6.3.	Deckemails	75
4.3.	Grundlagen zu Gasen in Metallen	45	6.3.1.	Allgemeine Charakteristika	75
4.4.	Grundlagen der Zundervorgänge bei Metallen	47	6.3.2.	Deckemails für die konventionelle Stahlblechemaillierung	76
4.4.1.	Oxydationskinetik	48	6.3.2.1.	Weißstrübende Emails	76
4.4.2.	Aufbau der Zunderschichten	49	6.3.2.2.	Farbemails	78
5.	Grundlagen der Kontaktmechanismen und -wirkungen im System Metall/Email	51	6.3.2.3.	Chemisch resistente Emails	80
5.1.	Benetzung und Adhäsion im System Metall/Emailschmelze	51	6.3.2.4.	Spezialdeckemails	82
5.1.1.	Theorie der Benetzung	51	6.3.3.	Fritten für glaskristalline Deckemails	85
5.1.2.	Allgemeine emailtechnische Aspekte der Benetzung	52	6.3.4.	Ränder- und Dekoremails	85
5.2.	Grundlagen des Blasenverhaltens im Kontaktsystem Metall/Email	53	6.3.5.	Deckemails für Gußeisen	85
5.3.	Allgemeine Grundlagen chemischer Wechselwirkungen im Kontaktsystem Metall/Emailschmelze	53	6.4.	Direktemails	87
5.3.1.	Chemische, von den Eigenschaften der Schmelze abhängige Reaktionen	53	6.4.1.	Direktemails für Stahlblech	87
5.3.2.	Reaktionsvermögen realer Schmelzen	54	6.4.1.1.	Direktemails auf Basis Grund	87
5.4.	Haftphänomene zwischen Metall und Email	55	6.4.1.2.	Direktemails auf Basis Deckemail	88
5.4.1.	Allgemeine Gesichtspunkte der Festkörper- und Emailhaftung	55	6.4.2.	Direktemails für Gußeisen	88
5.4.2.	Haftung von Email auf Stahlblech	57	6.4.3.	Emails für legierte und hochlegierte Stähle	89
5.4.3.	Haftung von Email auf legiertem Stahl	63	6.4.4.	Emails für Aluminium	90
5.4.4.	Haftung von Email auf Gußeisen	63	6.4.5.	Emails für Titanium und Titaniumlegierungen	91
5.4.5.	Haftung von Email auf Kupfer und anderen Edelmetallen	63	6.4.6.	Emails für Kupfer	92
5.4.6.	Haftung von Email auf Aluminium	64	6.4.7.	Emails für sonstige Metalle	92
5.4.7.	Haftung von Email auf Titanium	64	7.	Emailrohstoffe	93
5.5.	Grundlagen der Entwicklung permanenter Spannungen im System Metall/Email	64	7.1.	Emailgrundstoffe	93
5.5.1.	Allgemeiner Verlauf der Spannungsentwicklung	64	7.1.1.	Quarzrohstoffe	93
5.5.2.	Berechnung von Spannungen	65	7.1.2.	Silicatische Rohstoffe	94
<hr/>			7.1.3.	B ₂ O ₃ - und P ₂ O ₅ -Rohstoffe	96
Email und seine Herstellung			7.1.4.	Alkalioxid-Träger	97
6.	Aufbau und Charakteristik technischer Emails	71	7.1.5.	Erdalkalioxid-Träger	98
6.1.	Zur Systematik der Emails	71	7.1.6.	Tonerderohstoffe	98
			7.1.7.	Schwermetalloxid-Emailgrundstoffe	99
			7.1.8.	Fluoride	99
			7.2.	Oxydationsmittel	99
			7.3.	Haftmittel	99
			7.3.1.	Oxidische Haftmittel	100
			7.3.2.	Sulfidische Haftmittel	100
			7.4.	Farbkörper und Leuchtstoffe	100
			7.4.1.	Farbkörper für Ionenfärbung	100
			7.4.2.	Dispersionsfarbkörper	100
			7.4.3.	Ausscheidungsfarbkörper	102
			7.4.4.	Farbkörper für Dekorfarben	102
			7.4.5.	Leuchtfarben	102
			7.5.	Trübungsmittel	102
			7.5.1.	Dispersionstrübungsmittel	103
			7.5.2.	Ausscheidungstrübungsmittel	103
			7.5.3.	Trübungsfördernde Fluoride	104

7.6.	Naßemail-Hilfsstoffe	104
7.6.1.	Hochschmelzende Oxide für Grund- und Deckemails	104
7.6.2.	Schwebestoffe	104
7.6.2.1.	Tone	104
7.6.2.2.	Nichttonige und synthetische Schwebemittel	107
7.6.3.	Rheologisch wirksame Zusätze	108
7.6.4.	Korrosionsinhibitoren	108
7.6.5.	Wasser	109
7.7.	Rohstoffprüfung	109
7.7.1.	Probennahme	109
7.7.2.	Allgemeine quantitative chemische Analyse	109
7.7.3.	Allgemeine physikalische Prüfungen	110
7.7.4.	Spezielle Rohstoffprüfungen	110
8.	Herstellung der Emailfritte	112
8.1.	Grundlagen versatztechnischer Be- rechnungen	112
8.1.1.	Berechnung der Emailzusammenset- zung aus vorgegebenem Versatz	112
8.1.2.	Berechnung eines Gemengesatzes aus vorgegebener Emailzusammen- setzung	113
8.2.	Herstellung des Gemenges	113
8.2.1.	Lagern der Rohstoffe	113
8.2.2.	Wägen und Mischen der Rohstoffe	114
8.3.	Schmelzen	114
8.3.1.	Physikalisch-chemische Vorgänge beim Erschmelzen von Email	114
8.3.2.	Technischer Schmelzablauf	116
8.3.3.	Schmelzaggregate	118
8.3.4.	Granulieren	119
8.4.	Sintern	120
8.5.	Prüfung und Kontrollmaßnahmen bei der Herstellung des Emails	120
9.	Herstellung auftragfähiger disperser Emailsysteme	121
9.1.	Theoretische Grundlagen	121
9.1.1.	Theorie der Zerkleinerung	121
9.1.2.	Theorie der Granulometrie fester disperser Systeme	122
9.1.3.	Grundzüge der Rheologie disperser fest-flüssiger Systeme	123
9.2.	Mahlen	123
9.2.1.	Allgemeine Gesichtspunkte der Mah- lung in Trommelmühlen	124
9.2.2.	Mahlaggregate	125
9.2.3.	Trockenmahlung	125
9.2.4.	Naßmahlung	126

9.3.	Mahlprodukte	127
9.3.1.	Emailpulver	127
9.3.2.	Schlicker	127
9.4.	Pulver- und Schlickerprüfung	132
9.4.1.	Prüfung des Emailpulvers	132
9.4.2.	Prüfung des Emailschlickers	133

Herstellung der Rohware

10.	Metallische Grundwerkstoffe	137
10.1.	Stahlblech	137
10.1.1.	Grundzüge der Herstellung von Stahl- blech	137
10.1.2.	System Fe—C (Eisen-Kohlenstoff- Diagramm)	138
10.1.3.	Weitere Systeme	139
10.1.4.	Konventionelle und C-arme Stahl- bleche	139
10.1.5.	Stabilisierte, mikrolegierte Stahl- bleche	147
10.1.6.	Aluminiertes Stahlblech	148
10.1.7.	Vorpräparierte Stahlbleche	148
10.2.	Gußeisen	148
10.2.1.	Grundzüge der Herstellung von Guß- eisen	148
10.2.2.	System Fe—C—Si	149
10.2.3.	Chemische Zusammensetzung	149
10.2.4.	Gefüge	151
10.2.5.	Technische Kennwerte	151
10.3.	Gußeisen-Stahl-Kompositmetall	152
10.4.	Legierte Stähle und Legierungen	152
10.5.	Leichtmetalle	152
10.5.1.	Aluminium und Aluminium- legierungen	153
10.5.2.	Magnesium und Magnesium- legierungen	155
10.5.3.	Titanium und Titaniumlegierungen	155
10.6.	Nichteisen-Schwermetalle	156
10.6.1.	Kupfer und Kupferlegierungen	156
10.6.2.	Molybdän und Wolfram	156
10.6.3.	Goldlegierungen	156
10.7.	Prüfung der Metalle	157
10.7.1.	Chemische Analyse und Gefüge- untersuchung	157
10.7.2.	Physikalisch-mechanische Unter- suchungen	157
10.7.3.	Thermomechanische Unter- suchungen	157
10.7.4.	Chemische Untersuchungen	158

10.7.5.	Untersuchungen zum Wasserstoffverhalten	158	13.3.2.	Vorbehandlung in Schmelzen	195
10.7.6.	Probeemaillierung	159	13.4.	Thermische und mechanische Verfahren	195
11.	Konstruktion und Gestaltung	160	13.4.1.	Glühen	195
11.1.	Auswahl der Metalle	160	13.4.2.	Strahlen	196
11.2.	Allgemeine Konstruktionsregeln	161	13.5.	Prüfung und Kontrolle der Vorbehandlungsmittel und Vorbehandlung	198
11.3.	Konstruktionsbeispiele	163	13.5.1.	Entfettungsbäder	198
11.3.1.	Gestaltung von Blechteilen	163	13.5.2.	Beizbäder	198
11.3.2.	Schweißverbindungen	165	13.5.3.	Vernickelungsbäder	199
11.3.3.	Gestaltung von Gußteilen	166	13.5.4.	Spülbäder	199
11.4.	Montagebeispiele	166	13.5.5.	Strahlmittel	199
11.5.	Material- und Farbkombinationen ..	168	13.6.	Nachbesserung	199
12.	Formgebung	169	14.	Auftragen des Emails	200
12.1.	Formgebung von Stahlblech	169	14.1.	Naßauftrag	201
12.1.1.	Zerteilen	169	14.1.1.	Spritzen	201
12.1.2.	Kaltumformen	169	14.1.2.	Tauchen	204
12.1.3.	Schweißen	173	14.1.3.	Fluten	206
12.2.	Formgebung von Gußeisen	174	14.1.4.	Aufstreichen	208
12.2.1.	Formverfahren	174	14.2.	Puderauftrag	208
12.2.2.	Gießprozeß	176	14.2.1.	Kaltpuderverfahren	208
12.3.	Formgebung von Aluminium	177	14.2.2.	Heißpuderverfahren	209
			14.2.3.	Tauchpuderverfahren	209
			14.3.	Auftrag im elektrischen Feld	210
			14.3.1.	Elektrophorese	210
			14.3.2.	Naßelektrostatik	212
			14.3.3.	Pulverelektrostatik	214
			14.4.	Verfahren zum Dekorauftrag	216
			14.4.1.	Auftrag von Farbkombinationen ..	217
			14.4.2.	Auftrag von Effektemails	217
			14.4.3.	Auftragen von Bilddekors	218
			14.5.	Behandlung von Abfallemails	219
			15.	Trocknen des Emailauftrags	221
			15.1.	Vorgänge beim Trocknen	221
			15.1.1.	Physikalisch-chemische Grundlagen	221
			15.1.2.	Trocknungsverlauf und Einflüsse ..	222
			15.2.	Verfahren und Einrichtungen zum Trocknen	222
			15.2.1.	Trocknung durch Wärmeleitung	223
			15.2.2.	Trocknung durch Wärmekonvektion	223
			15.2.3.	Strahlungstrocknung	224
			15.3.	Biskuitschicht	225
			16.	Einbrennen des Emails	226
			16.1.	Technische Brennvorgänge	226
			16.1.1.	Einbrennen von Grundemails auf Eisenwerkstoffen	227
			16.1.2.	Einbrennen von Deckemail	230

Prozeßaspekte des Emailierens

13.	Metallvorbehandlung	181
13.1.	Wissenschaftliche Grundlagen wichtiger Vorbehandlungsprozesse	181
13.1.1.	Grundlagen der Entfettung	181
13.1.2.	Grundlagen des Beizens von Stahlblech	184
13.1.3.	Theorie der Beizinhibition	185
13.1.4.	Grundlagen der elektrochemischen Vernickelung	186
13.2.	Technisch-chemische Vorbehandlungsverfahren	187
13.2.1.	Entfetten	187
13.2.2.	Beizen	188
13.2.3.	Vernickeln	190
13.2.4.	Spülen	191
13.2.5.	Neutralisieren	192
13.2.6.	Anlagen zur chemischen Vorbehandlung	192
13.2.7.	Spezielle Vorbehandlung von Aluminium	193
13.3.	Elektrochemische Verfahren	194
13.3.1.	Vorbehandlung in wäßrigen Lösungen	194

16.1.3.	Einbrennen von Direktemail	231	19.1.2.	Zwei-Schicht-Ein-Brand- Emaillierung	273
16.1.4.	Einfluß der Ofenatmosphäre	232	19.1.3.	Liberty Coat-Verfahren	277
16.2.	Verfahren und Einrichtungen zum Brennen	233	19.1.4.	Einschichtemaillierungen	278
16.2.1.	Aufheizen durch Strahlungswärme	234	19.1.5.	Glaskristalline Emaillierungen	278
16.2.2.	Strahlungsbeheizte Öfen	237	19.1.6.	Vergleich der Emaillierverfahren	279
16.2.2.1.	Kammeröfen	237	19.2.	Gußeisenaillierung	280
16.2.2.2.	Durchlauföfen	237	19.2.1.	Konventionelles Emaillieren	280
16.2.2.3.	Spezialöfen	239	19.2.2.	Einschichtemaillierung	281
16.2.3.	Konvektionserwärmung	241	19.3.	Aluminiumemaillierung	281
16.2.4.	Induktionserwärmung	241	19.4.	Emaillierung von Sondermetallen	282
16.3.	Brennhilfseinrichtungen	242	19.4.1.	Legierte Stähle	282
16.3.1.	Brennvorrichtungen	242	19.4.2.	Nichteisen-Schwermetalle	282
16.3.2.	Beschickungseinrichtungen	243	19.4.3.	Sonstige Leichtmetalle	282
16.3.3.	Richtwerkzeuge	243	20.	Der komplette Emaillierbetrieb	284
16.3.4.	Temperaturmeß- und Regeleinrich- tungen	243	20.1.	Prinzipieller Aufbau	284
16.3.5.	Kontrolle der Ofenatmosphäre	244	20.2.	Spezieller Aufbau	285
16.4.	Wärmewirtschaftliche Betrachtungen	244	20.2.1.	Geschirremaillierwerke	285
17.	Emaillierfehler – Diagnose und Vermeidung	246	20.2.2.	Flachteilemaillierwerke	286
17.1.	Fehlerdiagnose als Voraussetzung der Qualitätssicherung	246	20.2.3.	Emaillierwerke für Badewannen	288
17.1.1.	Allgemeine Gesichtspunkte	246	20.3.	Transport- und Lagereinrichtungen	288
17.1.2.	Vorgehen bei der Ursachenforschung	247	20.4.	Laborausrüstung	290
17.1.3.	Hilfsmittel der Fehlerdiagnose	247	21.	Gesundheits- und Umweltschutz in der Emailindustrie	291
17.2.	Fehlerbeschreibung	249	21.1.	Allgemeiner Überblick über Schad- stoff-, Hitze- und Lärmquellen in der Emailindustrie	291
17.2.1.	Brüche und Trennstellen in der Emaillierung	249	21.2.	Gesundheitsschutz im Emaillierwerk	292
17.2.2.	Blasen und Poren	256	21.2.1.	Hitzebelastung	292
17.2.3.	Flecken und Fremdkörper	260	21.2.2.	Schutz vor Lärmbelastung	292
17.2.4.	Sonstige Fehler	264	21.2.3.	Staubbelastung	293
18.	Emailausbesserung	266	21.2.4.	Gase und Dämpfe	294
18.1.	Nachemaillieren	266	21.3.	Umweltschutz	294
18.2.	Örtliche Ausbesserung	267	21.3.1.	Luftreinhaltung von Stäuben und Rauchen	294
18.3.	Reemaillieren	268	21.3.2.	Reinhaltung von toxischen und schädlichen Gasen	294
18.3.1.	Entemaillieren	268	21.3.3.	Abwasserbelastung	296
18.3.1.1.	Mechanisches Entemaillieren	268			
18.3.1.2.	Chemisches Entemaillieren	268			
18.3.2.	Wiederemaillieren	269			

System Metall/Email

Systemaspekte der Emailliertechnik

19.	Emaillierverfahren	273
19.1	Stahlblechemaillierung	273
19.1.1.	Konventionelles Emaillieren	273

22.	Eigenschaften des Emails und des Systems Metall/Email	301
22.1.	Zur Berechnung von Eigenschaften aus der Zusammensetzung	301
22.2.	Gefüge von Emaillierungen	302

22.3.	Physikalisch-mechanische Eigenschaften	303	23.1.	Untersuchung und Prüfung des Emails	336
22.3.1.	Dichte	303	23.1.1.	Chemische Analyse	336
22.3.2.	Elastische Eigenschaften	303	23.1.2.	Messung physikalisch-mechanischer Eigenschaften	336
22.3.3.	Mechanische Eigenschaften	304	23.1.3.	Messung thermomechanischer Eigenschaften	337
22.3.3.1.	Allgemeine theoretische Gesichtspunkte	304	23.1.4.	Messung thermischer Eigenschaften	338
22.3.3.2.	Festigkeit des Emails	305	23.1.5.	Messung elektrischer Kennwerte ...	338
22.3.3.3.	Elastisches Verhalten und Festigkeit im System Metall/Email	306	23.2.	Prüfung der Emaillierung und des Metall/Email-Systems	338
22.3.4.	Torsionsverhalten	307	23.2.1.	Allgemeine Prüfung der Emailschiicht	338
22.3.5.	Schlagfestigkeit	307	23.2.2.	Prüfung mechanischer Eigenschaften	340
22.3.6.	Haftfestigkeit	309	23.2.3.	Prüfung thermomechanischer Eigenschaften	343
22.3.7.	Härte und mechanischer Verschleißwiderstand	312	23.2.4.	Prüfung optischer Eigenschaften ...	344
22.3.8.	Spannungen in Emaillierungen ...	314	23.2.5.	Prüfung der chemischen Beständigkeit	345
22.4.	Thermomechanische Eigenschaften ..	314	23.2.6.	Sonstige Prüfungen	348
22.4.1.	Wärmeausdehnung	314	24.	Spezielles Anwendungsverhalten emaillierter Erzeugnisse	349
22.4.2.	Erweichungsverhalten	315	24.1.	Zum technisch-wirtschaftlichen Werkstoffvergleich	349
22.4.3.	Viskosität	316	24.2.	Anwendungsübersicht über emaillierte Erzeugnisse	350
22.4.4.	Oberflächenspannung	317	24.3.	Spezielles Anwendungsverhalten ausgewählter Erzeugnisse	351
22.4.5.	Temperaturwechselverhalten	318	24.3.1.	Haushaltgeräte	351
22.5.	Thermische Eigenschaften	320	24.3.2.	Sanitärgegenstände	354
22.5.1.	Spezifische Wärmekapazität	320	24.3.3.	Chemieausrüstungen	354
22.5.2.	Wärmeleitfähigkeit	320	24.3.4.	Ausrüstungen der Wärmetechnik und Energetik	357
22.6.	Optische Eigenschaften	321	24.3.5.	Emaillierungen in der Elektrotechnik/Elektronik	358
22.6.1.	Brechzahl	321	24.3.6.	Architekturaemaillierungen	359
22.6.2.	Trübung	321	24.3.7.	Spezielle Hochtemperaturemaillierungen	359
22.6.3.	Farbe	324	24.4.	Behandlung emaillierter Erzeugnisse	361
22.6.4.	Glanz	325	Literaturverzeichnis	363	
22.6.5.	Strahlungsoptische Eigenschaften ...	326	Sachwörterverzeichnis	393	
22.7.	Elektrische Eigenschaften	326			
22.7.1.	Elektrische Leitfähigkeit und Durchschlagfestigkeit	326			
22.7.2.	Dielektrische Kennwerte	327			
22.8.	Chemische Beständigkeit	328			
22.8.1.	Säurebeständigkeit	328			
22.8.2.	Verhalten gegen alkalische Lösungen	332			
22.8.3.	Wasserbeständigkeit	333			
22.8.4.	Witterungsbeständigkeit	334			
22.8.5.	Verhalten gegenüber sonstigen aggressiven Einwirkungen	335			
23.	Untersuchung und Prüfung von Emails, Emaillierungen und Metall/Email-Systemen	336			