

Inhaltsverzeichnis

Häufig verwendete Formelzeichen	XIII
1 Allgemeines – Definition des Begriffs Stahl – Ziel der Stahlherstellung	1
2 Thermodynamische Grundlagen	4
2.1 Übersicht über die wichtigsten bei der Raffination ablaufenden Reaktionen	4
2.2 Aktivitäten in metallischen Mehrstoffsystemen	7
2.3 Struktur der Schlacken	10
2.4 Gasgleichgewichte	15
2.5 Oxidationsgleichgewichte	20
2.5.1 Das System Eisen-Sauerstoff	20
2.5.2 Zweistoffsysteme von Schlacken der Oxidationsreaktionen	25
2.5.2.1 Das System FeO-MnO	25
2.5.2.2 Das System FeO-SiO ₂	27
2.5.2.3 Das System FeO-Fe ₂ O ₃ -CaO	28
2.5.2.4 Das System FeO-Fe ₂ O ₃ -MgO	36
2.5.2.5 Die Systeme CaO-SiO ₂ und CaO-P ₂ O ₅	37
2.5.3 Das Dreistoffsysteem CaO-FeO _n -SiO ₂ und die zugehörigen Metall-Schlacke-Gleichgewichte	39
2.5.4 Das System CaO-FeO _n -P ₂ O ₅ und das Entphosphorungsgleichgewicht	49
2.6 Desoxidationsgleichgewichte	57
2.6.1 Einfache Desoxidationsgleichgewichte	57
2.6.2 Bildung komplexer Oxide	65
2.7 Gleichgewichte der Entschwefelung	76
2.7.1 Löslichkeitsprodukte der Sulfide	79
2.7.2 Entschwefelung mit festen Entschwefelungsmitteln	82
2.7.3 Entschwefelung mit kalkbasischen Schlacken	85
2.8 Gleichgewichte mit alkalihaltigen Schlacken	94
2.9 Calciummetallurgie	102
3 Stoffübertragung	107
3.1 Formen schmelzmetallurgischer Reaktionen	107
3.1.1 Einführung und Grundbegriffe	107
3.1.2 Reaktionstypen	112

3.1.2.1 Konsekutivreaktionen	113
3.1.2.2 Doppelte Umsetzungen	115
3.1.2.3 Reaktionen mit Verzweigungen	120
3.2 Transportvorgänge	123
3.2.1 Einführung und Grundbegriffe	123
3.2.2 Grenzschichten	125
3.2.3 Stoffübergang bei reibungsfreier Strömung	127
3.2.4 Strömung und Stoffübergang bei Strömung mit Reibung, Strömung laminar	132
3.2.4.1 Gleichung der Strömungsgrenzschicht bei laminarer erzwungener Strömung	132
3.2.4.2 Gleichung der Diffusionsgrenzschicht bei laminarer erzwungener Strömung	135
3.2.4.3 Lösung der Grenzschichtgleichungen	137
3.2.5 Näherungsweise Berechnung der Grenzschichtgleichungen mit Hilfe der Integralprofilmethode	143
3.2.5.1 Grenzschicht an der längs angestromten Platte	143
3.2.5.2 Strömungs- und Konzentrationsgrenzschichten an einer flüssig-flüssig-Phasengrenze	145
3.2.6 Strömung und Stoffübergang bei Strömung mit Reibung, Strömung turbulent	153
3.2.6.1 Begriff der Turbulenz	153
3.2.6.2 Reynoldssche Schubspannung	154
3.2.6.3 Prandtlscher Mischungsweg	156
3.2.6.4 Turbulenter Stofftransport	158
3.2.7 Turbulenter Impuls- und Stofftransport an freien Oberflächen	160
3.2.8 Einfluß grenzflächenaktiver Stoffe auf den Stoffübergang	164
3.2.9 Stoffübergang mit Fällungsreaktion an einer Phasengrenze	167
4 Kinetik schmelzmetallurgischer Reaktionen	169
4.1 Einführung	169
4.2 Metall-Gas-Reaktionen	170
4.2.1 Reaktion zwischen flüssigem Eisen und Stickstoff	170
4.2.1.1 Aufstellung des Reaktionsschemas	170
4.2.1.2 Stofftransport in der Gasphase	172
4.2.1.3 Stofftransport in der Schmelze	175
4.2.1.4 Phasengrenzreaktion bei reinen Eisen-Stickstoff-Schmelzen	178
4.2.1.5 Einfluß von Sauerstoff und Schwefel auf den Stickstoffübergang	179
4.2.2 Reaktion zwischen flüssigem Eisen und Wasserstoff	182
4.2.3 Kohlenstoff-Sauerstoff-Reaktion in flüssigem Eisen	183
4.2.3.1 Oxidation des Kohlenstoffs an einer freien Oberfläche der Metallschmelze mit einem gasförmigen Oxidationsmittel	184
4.2.3.2 Oxidation von flüssigem Eisen durch Sauerstoff	190
4.2.3.3 Kohlenmonoxidreaktion	192

4.3	Metall-Schlacke-Reaktionen	196
4.3.1	Reaktionen ohne Beteiligung von Kohlenstoff	196
4.3.1.1	Transportbestimmte Reaktionen	196
4.3.1.2	Phasengrenzreaktion	198
4.3.2	Reaktionen mit Beteiligung von Kohlenstoff	201
4.4	Auflösung fester Stoffe	208
4.4.1	Auflösung dichter Stoffe	208
4.4.1.1	Der Ausbau der Atome aus dem Kristall	208
4.4.1.2	Transportbestimmte Auflösung	210
4.4.2	Auflösung poröser Stoffe	213
4.4.3	Auflösung von Kalk in silicatischen Schlacken	217
5	Bewegungsgesetze von festen Teilchen, Tropfen und Gasblasen in Mehrphasensystemen	219
5.1	Einführung	219
5.2	Bewegung fester Teilchen	219
5.3	Bewegung von Gasblasen	223
5.3.1	Blasenentstehung	223
5.3.2	Widerstandsgesetze für Gasblasen	230
5.3.3	Blasenzerfall	236
5.4	Bewegung von Tropfen	237
5.5	Bewegungsgesetze von Teilchensuspensionen und Blasenschwärm en	238
5.5.1	Bewegung von Partikelwolken begrenzter Höhe	240
5.5.2	Blasensäulen	244
5.5.2.1	Allgemeines	244
5.5.2.2	Blasensäulen im Konverter	249
5.5.2.3	Blasensäulen in der Pfanne	252
5.6	Verhalten feststoffbeladener Gasstrahlen	265
5.6.1	Zustandsdiagramm der pneumatischen Förderung	265
5.6.2	Hydrodynamisches Verhalten feststoffbeladener Gasstrahlen	266
5.6.2.1	Typen von Gas-Feststoff-Strahlen	266
5.6.2.2	Verhalten gekoppelter Gas-Feststoff-Strahlen beim Eindringen in Schmelzen	268
5.6.3	Eindringen von Teilchen in Schmelzen	276
5.6.3.1	Einführung	276
5.6.3.2	Eindringen eines Einzelteilchens	278
5.6.3.3	Weiteres Verhalten der Teilchen in der Schmelze, Eindringen eines Teilchenschwärms	281
5.7	Emulgierung	282
5.7.1	Bedingung der Tropfenbildung	284
5.7.2	Geschwindigkeit der Phasengrenze Schlacke-Metall	286
5.7.3	Menge der emulgierten Tropfen	292
6	Stoffübergang in metallurgischen Systemen	295
6.1	Einführung	295
6.2	Verschleiß von feuerfestem Material	296
6.3	Blasengerührte Grenzfläche	301

6.3.1	Modellvorstellungen	301
6.3.2	Experimentelle Ergebnisse	303
6.4	Grundsätzliches zum Stoffübergang an Teilchen, Tropfen und Blasen	307
6.5	Wachstum und Auflösung kleiner Teilchen in Schmelzen	308
6.6	Wechselwirkung zwischen Teilchen und Grenzflächen. Teilchenkoagulation und Teilchenabscheidung	315
6.7	Teilchenabscheidung durch Röhren	318
6.8	Stoffübergang an festen Teilchen bei höheren Reynoldszahlen	324
6.9	Stoffübergang an Teilchen mit Berücksichtigung von Diffusion im Teilchen	327
6.10	Stoffübergang zwischen Schmelzen und Tropfen	333
6.11	Stoffübergang zwischen Gasblasen und Schmelzen	337
7	Reaktortheorie	341
7.1	Begriff der Reaktortheorie	341
7.2	Makrokinetik in homogenen Systemen	343
7.2.1	Vorbemerkung	343
7.2.2	Makrokinetik in nichtemulgierten Systemen	344
7.2.2.1	Permanenter Phasenkontakt	345
7.2.2.2	Transitorischer Phasenkontakt	347
7.2.3	Makrokinetik in emulgierten Systemen	349
7.2.3.1	Permanenter Phasenkontakt	349
7.2.3.2	Transitorischer Phasenkontakt	354
7.2.4	Folgerungen	356
7.3	Stoffumsätze in dispergierten Systemen	357
7.3.1	Regeln für die Bestimmung der Stoffumsätze an Teilchen, Tropfen und Blasen	357
7.3.2	Metall-Schlacke-Reaktionen im Sauerstoffkonverter	360
7.3.2.1	Reaktionssystem Sauerstoffkonverter	360
7.3.2.2	Teilchengrößeverteilung, Menge und Verweilzeit der in der Schlacke emulgierten Eisentropfen	363
7.3.2.3	Entphosphorungsreaktion	364
7.3.2.4	Einfluß veränderter Parameter	374
7.3.3	Entschwefelung von Roheisen durch Einblasen von Kalk oder Calciumcarbid	375
7.3.3.1	Reaktionstechnische Analyse der Entschwefelung mit Kalk	375
7.3.3.2	Entschwefelung mit Calciumcarbid	381
7.4	Entkohlungsreaktion	381
7.5	Mischung	392
7.5.1	Einführung	392
7.5.2	Mischungsmodelle	395
7.5.2.1	Modell der turbulenten Umlaufströmung	395
7.5.2.2	Einfaches Umlaufmodell	397
7.5.2.3	Tank-in-Reihe-Modell	399
7.5.2.4	Zwei-Tank-Modell	402

7.5.2.5 Kombiniertes Umlauf- und Zwei-Tank-Modell	406
7.5.2.6 Verallgemeinertes Teilvolumenmodell	410
7.5.3 Mischung im Konverter	410
8 Kinetik des Einschmelzens	414
8.1 Einschmelzen mit direkter Übertragung der Wärme von der Heizquelle auf das Einschmelzgut	414
8.1.1 Aufgabenstellung	414
8.1.2 Vorwärmperiode	418
8.1.3 Schmelzperiode	424
8.2 Einschmelzen des Wärmeguts in der eigenen Schmelze	429
8.2.1 Einführung	429
8.2.2 Einschmelzen ohne Berücksichtigung der Wärmeleitung im Festkörper	433
8.2.2.1 Isothermes Schmelzen eines auf Schmelztemperatur befindlichen Feststoffs in schwach überhitztem Bad .	434
8.2.2.2 Adiabatisches Schmelzen eines auf Schmelztemperatur befindlichen Feststoffs in schwach überhitztem Bad .	435
8.2.2.3 Isothermes Schmelzen eines auf Schmelztemperatur befindlichen Feststoffs in stark überhitztem Bad .	437
8.2.2.4 Isothermes und adiabatisches Schmelzen eines kalten Einsatzstoffs mit der Wärmeleitzahl $\lambda' = 0$	439
8.2.2.5 Isothermes Schmelzen eines kalten Einsatzstoffs mit der Wärmeleitzahl $\lambda' = \infty$	439
8.2.3 Einschmelzen mit Berücksichtigung der Wärmeleitung im Feststoff	440
8.2.4 Experimentelle Ergebnisse	446
8.3 Schmelzen von reinem Eisen in flüssigen Eisen-Kohlenstofflegierungen	448
8.4 Prozeßmodell des Einschmelzens	451
Literaturverzeichnis	453
Sachverzeichnis	483