

Vorwort

1	Bauteile und Komponenten aus austenitischen Edelstahllegierungen im Praxiseinsatz	1
1.1	Korrosionsverhalten	4
1.2	Partikelverhalten	5
1.3	Reinigungs- und Hygieneverhalten	5
1.4	Inkrustationsverhalten	6
1.5	Adsorptions- und Desorptionsverhalten	7
1.6	Nachgasungsverhalten	8
1.7	Oberflächen Ausbildung	13
2	Übersicht der Edelstahlwerkstoffe	18
2.1	Darstellung von Edelstahlwerkstoffen nach DIN 10027	19
2.1.1	Ferritische Legierungen	19
2.1.2	Austenitische Legierungen	20
2.1.3	Duplexlegierungen	20
2.1.4	Martensitische Legierungen	21
2.1.5	Ausscheidungshärtende Edelstahllegierungen	21
2.1.6	Mechanische Festigkeit	21
2.1.7	Mechanische Härte	23
2.1.8	Mechanische Härte kennwerte	24
2.1.9	Härtungsmechanismen	24
2.1.10	Einteilung der Edelstahlwerkstoffe	26
2.1.10.1	Einteilung der Edelstahllegierungen nach DIN EN 10027-1/2	27
2.1.10.2	Alphanummerische Bezeichnung der Edelstahllegierungen nach dem aktuellen UNS- Werkstoffnummernsystem	30
2.2	Herstellung der Edelstähle	33
2.2.1	Der Reinheitsgrad des Stahls	37
2.2.2	Korrosionsverhalten von 1.4305/1.4301	40
2.2.3	Kohlenstofflöslichkeit in 1.4404/1.4435	40
2.3	Prinzipielle kristalline Aufbaustruktur der Legierung	41
2.4	Ordnungsdefekte der Aufbaustruktur der Edelstahllegierung	44
2.5	Schmelzenverunreinigungen und Lösungsfähigkeiten	46
2.6	Eigenschaftsvergleiche	47
2.7	Be- und Verarbeitungsmerkmale	47
2.8	Gesichtspunkte der richtigen Werkstoffauswahl	59
3	Typische Anlagenbauteile, deren Wirkungsweise und deren Eigenschaftsverhalten hinsichtlich Problemen im Betrieb	61
3.1	Biofermenter mit speziellem Anlagerungs- und Reinigungsverhalten, Korrosionsverhalten und Pyrogenverhalten	61
3.2	Reinstgasleitung mit definierter Partikelreinheit, Ad- und Desorptionsverhalten von Gasen und Feuchte	63

3.3	Hochvakuumrezipient mit speziellen Eigenschaften des Oberflächenentgasungsverhaltens und der Reinheit	65
3.4	Polymerisationsreaktor mit Anlagerungs- und Reinigungsverhalten, katalytische Wandreaktionen	67
3.5	Stoffauflauf einer Papiermaschine mit Anlagerungsverhalten, Keimwachstum	68
3.6	Rohrbündelwärmetauscher mit Anlagerungsverhalten, Wärmedurchgangsverhalten	68
4	Mikroskopische und makroskopische Darstellung von technischen Oberflächen mit messtechnisch reproduzierbaren topografischen Oberflächendefinitionen	72
4.1	Kennzeichnung von technischen Oberflächen	75
4.1.1	Aus topografischer Sicht	75
4.1.2	Aus morphologischer Sicht	85
4.1.3	Aus energie- bzw. ladungstechnischer Sicht	87
4.1.4	Aus ladungstechnischer Sicht	88
4.2	Grenzschichtphänomene	89
4.3	Anlagerung und Wachstum von Mikroorganismen auf Edelstahloberflächen (Biofilmbildung)	90
4.4	Adsorption und Desorption	91
4.5	Wasserstoffpermeationen in Edelstahloberflächen	91
4.6	Kohlenwasserstoffe auf Edelstahloberfläche	92
4.7	Hinweise zum Lotusblatteffekt	92
4.8	Ermittlung signifikanter Kennwerte einer funktionalen Oberfläche	93
5	Messmethoden zur Bestimmung topografischer, morphologischer und energietechnischer Eigenschaften von Edelstahloberflächen	97
5.1	Topografie	99
5.1.1	Direkte und indirekte visuelle Prüfmethode (Sichtprüfungen)	100
5.1.2	Rauheitsmessung nach DIN EN 4288	101
5.1.3	Lichtmikroskopische Prüfungen	110
5.1.4	REM-Aufnahmen	111
5.1.5	Penetrationsmessung	112
5.1.6	Penetrationsprüfung nach ASTM D5/EN1426	113
5.1.7	Reflexionsmessung	113
5.1.8	Evakuierungsmessung	114
5.2	Morphologie	114
5.2.1	Atomspektroskopische Analysemethoden	116
5.2.1.1	Auger-Analyse-AES	118
5.2.1.2	Photoelektronen-Spektroskopie-XPS/ESCA	120
5.2.1.3	Passivschichtdefinition/Passivschichtmanipulation	121
5.2.1.4	EDX-Analyse	122
5.2.2	Elektrochemische Prüfmethode	123
5.2.3	Ferroxytest nach ASTM A 380	128
5.2.4	Kristallografische Analyse	130
5.3	Energieniveau	131
5.3.1	Energieniveau von Edelstahloberflächen	132
5.3.2	Oberflächenspannungsbestimmung über Tropfenrandwinkelmessung und Vergleichstintenmessung	133

5.4	Nutzung von Messtechniken, Auswertung von Messergebnissen für praktische Oberflächenbeurteilungen	135
5.4.1	Oberflächenprüfmethoden	136
6	Darstellung von Oberflächenbehandlungsverfahren bei der Herstellung von Bauteilen aus (austenitischen) Edelstahllegierungen	137
6.1	Beurteilung von Edelstahloberflächen	138
6.2	Spanlose Formgebung	138
6.3	Oberflächenstrahlen	142
6.4	Erodieren	143
6.5	Korrosionsrisiken bei Tiefziehteilen	144
6.6	Spanabhebende Formgebung	144
6.7	Mechanisches Schleifen	149
6.8	Korrosionswirkungen nach mechanischen Schleifprozessen	151
6.9	Verformungsmartensit	152
6.10	Glühen	152
6.11	Schweißen	153
6.12	Chemisches Beizen als Oberflächenbehandlung	156
6.13	Elektrochemisches Polieren als Oberflächenbehandlung	159
6.14	Elektrochemisches Äquivalent K	168
6.15	Elektropolieren von stabilisierten Legierungen	169
6.16	Veränderung der Oberflächeneigenschaftsbilder Topografie, Morphologie, Energieniveau und der praktischen funktionalen Eigenschaften durch die verschiedenen Bearbeitungsmethoden der Edelstahloberfläche	170
6.17	Oberflächenhaftungsmechanismus	170
6.18	Oberflächensanierungsmethoden	170
6.19	Gussausführungen vs. Schmiedeausführungen	171
6.20	Oberflächenfehlerkatalog (Defektkatalog)	172
6.21	Fressen von Edelstahlschrauben	174
7	Korrosionsmechanismen und Korrosionsparameter bei (austenitischen) Edelstahllegierungen	175
7.1	Chloridische Wasserlösungen	177
7.2	Lokalkorrosionen und Flächenkorrosionen	177
7.3	Uniforme oder flächige Korrosion	177
7.4	Lochfraßkorrosion	179
7.5	Spannungsrissskorrosion	181
7.6	Interkristalline Form	182
7.7	Transkristalline Form	182
7.8	Interkristalline Korrosion	182
7.9	Fremdkorrosion	183
7.10	Spaltkorrosion	184
7.11	Schwingungskorrosion	186
7.12	Mikrobiologisch induzierte Korrosion (MIC)	186
7.13	Beeinflussung des Korrosionsverhaltens durch die Oberflächenstruktur	186
7.14	Korrosionsprevention / Korrosionsschutz	187
7.15	Elektrische Potentiale	189
7.16	Oberflächenbearbeitung vs. Korrosionsverhalten	190
7.17	Pourbaix-Diagramm	190
7.18	Das Rougingphänomen	192

7.18.1	Rouging	192
7.18.2	Rougeinversion	194
7.18.3	Rougingwirkungen	195
7.18.4	Derouging	195
8	Beeinflussung von (lokalen) Oberflächenbereichen durch thermische Behandlungsverfahren von Bauteilen aus austenitischen Edelstahllegierungen	202
8.1	Glühen/Lösungsglühen	202
8.2	Schweißen	208
8.2.1	Schweißbarkeit von Stahl (Fe-C-Legierung)	208
8.2.2	Basler Norm 2 (BN2)	218
8.2.3	Gefügeausbildungen bei der Abkühlung aus dem Schmelzzustand	219
8.2.4	Bewertungsaspekte der Schweiß- bzw. Glühanlauffarben in den HEZ-Bereichen	226
8.2.5	Bewertungsaspekte betreffend Schmauchniederschlägen im Schweißnahtbereich downstream	229
8.2.6	Hinweise zur optimalen Ausführung und zur Nachbehandlung von Schweißnähten von Edelstahlbauteilen	230
8.2.7	Schweißnahtfehler	233
8.2.8	Deltaferritbildung in Schweißnähten	234
8.3	Beeinflussung von Topografie, Morphologie und Energieniveau durch thermische Behandlungsverfahren	234
9	Erstellung von Spezifikationen für kontrollierte Oberflächenausführungen von Edelstahlflächen samt angepassten Prüfspezifikationen	235
9.1	Eigenschaften von technisch/wirtschaftlich gezielt optimierten Edelstahlflächen	236
9.1.1	Hinsichtlich Fertigungstechniken	236
9.1.2	Herstellspezifikationen im Pharmaanlagenbau	237
9.1.3	Standardisierungsguidelines für Pharmaapparate	237
9.1.4	Hinsichtlich Prüfungen	237
9.1.5	Hinsichtlich Praxisverhalten	237
9.2	Technisches Anforderungsprofil aus dem Praxisbetrieb	238
9.3	Technisch definierbare und prüfbare Spezifikationsgrößen einer Edelstahlfläche	239
9.4	Wartung von funktionalen Edelstahlflächen	239
9.5	Geplante Programmerweiterung	239
	Ergänzende und weiterführende Literatur	240
	Stichwortverzeichnis	242
	Die Autoren	245