

Werkstoffkunde

STAHL

Band 1: Grundlagen

Herausgeber:

Verein Deutscher Eisenhüttenleute

Verantwortlich für Entwurf und Durchführung:

W. Jäniche, W. Dahl, H.-F. Klärner,

W. Pitsch, D. Schauwinhold,

W. Schlüter, H. Schmitz

Mit 568 Abbildungen

Fachbereich Materialwissenschaft
der Techn. Hochschule Darmstadt

Inv.-Nr.: 282 / 1

1984

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo
Verlag Stahleisen m.b.H. Düsseldorf

Inhalt

Vorwort	IX
Hinweise zur Benutzung des Buches	XXII
Teil A Die technische und wirtschaftliche Bedeutung des Stahls	1
Von H. Schmitz	
A 1 Geschichtlicher Rückblick auf die Entwicklung der Stahlerzeugung bis 1870	3
A 2 Die heutige Bedeutung des Stahls	8
A 2.1 Die Stahlerzeugung in der Welt seit 1870	8
A 2.2 Heutige Bedeutung des Stahls in der Technik der Welt	8
A 2.3 Wandel in den Stahlerzeugungsverfahren seit 1870	11
A 2.4 Vergleich der in der Stahlerzeugung größten Länder	14
A 2.5 Herkunft der Rohstoffe für die Stahlherstellung	16
A 3 Derzeitige Einteilung des Stahls nach Eigenschaften, Verwendungsbereichen und Erzeugnisformen	19
A 3.1 Für die Stahlsorten gebräuchliche Gruppeneinteilungen	19
A 3.2 Einteilung des Stahls nach Fertigungsstufen und Erzeugnisformen	23
A 4 Stahl als unentbehrlicher Bau- und Werkstoff	26
Teil B Gefügeaufbau der Stähle	29
Von W. Pitsch und G. Sauthoff (B 1 bis B 8) und H. P. Hougardy (B 9)	
B 1 Einleitung	31
B 2 Thermodynamik des Eisens und seiner Legierungen	33
B 2.1 Reine Metalle	33
B 2.1.1 Nichtmagnetische Metalle	35
B 2.1.2 Eisen	36
B 2.2 Legierungen	39
B 2.2.1 Austauschmischkristalle	40
Formulierungen der Gibbsschen Energien. Gleichgewichte in Austauschmischkristallen. Chemisches Potential und chemische Aktivität einer Komponente. Anwendungsbeispiele.	
B 2.2.2 Einlagerungsmischkristalle	49

B 2.2.3	Austausch-Einlagerungs-Mischkristalle	53
B 2.2.4	Stöchiometrische Verbindungen	54
B 2.2.5	Graphit	58
B 2.2.6	Zahlenwerte der thermodynamischen Funktionen und der Gleichgewichte	59
B 2.3	Einfluß von Gitterstörungen	59
B 3	Keimbildung	64
B 3.1	Vorbereitende Energiebetrachtungen	64
B 3.2	Keimbildungsenergie	66
B 3.3	Keimbildung mit elastischer Gitterverzerrung	70
B 3.4	Heterogene Keimbildung	72
B 3.5	Zeit-Temperatur-Keimbildungs-Diagramme	73
B 4	Diffusion	77
B 4.1	Diffusion von Einlagerungsatomen	78
B 4.1.1	Diffusionsstrom	78
B 4.1.2	Diffusionskoeffizient	80
B 4.2	Diffusion von Austauschatomen in einkomponentigen Kristallen	84
B 4.3	Diffusion an Korngrenzen und Versetzungen	86
B 4.4	Diffusion von Austauschatomen in binären Mischkristallen	87
B 4.5	Diffusion des Kohlenstoffs in Austausch-Einlagerungs-Mischkristallen	91
B 4.6	Diffusion von Austauschatomen in ternären Mischkristallen	93
B 4.7	Zeitliche Änderung einer Konzentrationsverteilung	94
B 4.8	Diffusion in Verbindungen	96
B 5	Typische Stahlgefüge	97
B 5.1	Bestimmung des Begriffs „Gefüge“	97
B 5.2	Gefüge in niedriglegierten Stählen nach der Austenitumwandlung	98
B 5.3	Gefüge in niedriglegierten Stählen nach einer Anlaßbehandlung	107
B 5.4	Einfluß substitutioneller Legierungselemente	112
B 6	Kinetik und Morphologie verschiedener Gefügereaktionen	115
B 6.1	Austenit	115
B 6.1.1	Austenitisierung im einphasigen γ -Bereich	115
B 6.1.2	Austenitisierung im zweiphasigen Bereich	117
B 6.1.3	Einfluß von substitutionellen Legierungselementen	118
B 6.1.4	Homogenisierungsgrad	120
B 6.2	Ausscheidungen	121
B 6.2.1	Energiebetrachtungen	121
B 6.2.2	Keimbildung	123
B 6.2.3	Wachstumskinetik	124
B 6.2.4	Wachstumshemmungen	129
B 6.2.5	Einfluß substitutioneller Legierungselemente	130
B 6.2.6	Vergrößerung	131
B 6.2.7	Gesamtverlauf einer Ausscheidung	134
B 6.3	Perlit	138
B 6.3.1	Energiebetrachtungen	138
B 6.3.2	Keimbildung	140
B 6.3.3	Wachstumskinetik von lamellarem Perlit	141
B 6.3.4	Einfluß substitutioneller Legierungselemente	146
B 6.4	Martensit	150
B 6.4.1	Charakterisierung der Martensitumwandlung	150
B 6.4.2	Energiebetrachtungen	151

B 6.4.3	Das kristallographische Modell zur Bildung des Plattenmartensits	153
	Umwandlungsbedingungen. Gitterverändernde (Bain-)Deformation. Gittererhaltende Deformationen. Habitusebene. Orientierungszusammenhang. Gesamtdeformation.	
B 6.4.4	Lanzettmartensit	159
B 6.4.5	Keimbildung des Martensits	161
B 6.4.6	Thermoelastischer Martensit	163
B 6.5	Bainit	165
B 6.5.1	Einige Merkmale der bainitischen Umwandlungen und Gefüge	165
B 6.5.2	Mechanismen und Arten der bainitischen Umwandlungen	170
B 6.5.3	Kristallographische Untersuchungen der bainitischen Umwandlungen	174
B 7	Gefügeentwicklung durch thermische und mechanische Behandlungen	177
B 7.1	Einphasige Gefüge bei Wärmebehandlungen nach Kaltumformung	177
B 7.1.1	Erholung	177
B 7.1.2	Rekristallisation	178
B 7.1.3	Kornvergrößerung	181
B 7.2	Einphasige Gefüge bei Warmumformung	183
B 7.3	Gefüge mit ausgeschiedenen Teilchen bei Wärmebehandlungen nach Kaltumformung	185
B 7.4	Umwandlungsfähige ferritische Gefüge bei Wärmebehandlungen nach einer Verformung	188
B 7.5	Umwandlungsfähige austenitische Gefüge bei Wärmebehandlungen nach einer Verformung	191
B 7.6	Umwandlungsfähige Gefüge bei gleichzeitiger thermischer und mechanischer Behandlung	193
B 8	Vergleichende Übersicht über die Gefügereaktionen in Stählen	196
B 9	Darstellung der Umwandlungen für technische Anwendungen und Möglichkeiten ihrer Beeinflussung	198
B 9.1	Gleichgewichtsschaubilder	198
B 9.2	Zeit-Temperatur-Austenitisierungs-Schaubilder	201
B 9.2.1	ZTA-Schaubilder für isothermische Austenitisierung untereutektoidischer Stähle	203
B 9.2.2	ZTA-Schaubilder für isothermische Austenitisierung übereutektoidischer Stähle	204
B 9.2.3	ZTA-Schaubilder für kontinuierliche Erwärmung	204
B 9.2.4	Einfluß der chemischen Zusammensetzung und des Ausgangszustandes auf die Austenitisierung	207
B 9.2.5	Beeinflussung der Korngröße	207
B 9.2.6	Genauigkeit der ZTA-Schaubilder	209
B 9.2.7	Zusammenhang zwischen den ZTA-Schaubildern und dem Gleichgewichtsschaubild	210
B 9.3	Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Schaubilder	210
B 9.3.1	ZTU-Schaubilder für isothermische Umwandlungen	212
B 9.3.2	ZTU-Schaubilder für kontinuierliche Abkühlung	213
B 9.3.3	Andere Darstellungsformen der ZTU-Schaubilder	218
B 9.4	Beeinflussung des Umwandlungsverhaltens	220
B 9.4.1	Auswirkung der Austenitisierung	220
B 9.4.2	Einfluß der Legierungselemente	221
B 9.4.3	Auswirkung von Seigerungen	223
B 9.4.4	Messung und Genauigkeit der ZTU-Schaubilder	228
B 9.5	Mathematische Beschreibung des Umwandlungsverhaltens	228
B 9.5.1	Berechnung von Umwandlungstemperaturen	229
B 9.5.2	Berechnung kritischer Abkühlzeiten	230
B 9.5.3	Vollständige Beschreibung des Umwandlungsverhaltens	230

Teil C Die Eigenschaften des Stahls in Abhängigkeit von Gefüge und chemischer Zusammensetzung	233
C 1 Mechanische Eigenschaften	235
Von W. Dahl	
C 1.1 Verhalten bei einsinniger Beanspruchung und bei Temperaturen um und unter Raumtemperatur	235
C 1.1.1 Fließverhalten	235
C 1.1.1.1 Die Spannungs-Dehnungs-Kurve	245
Meßverfahren und Auswertung. Ausgeprägte Streckgrenze. Einfluß von Prüftemperatur und -geschwindigkeit.	
C 1.1.1.2 Andere Untersuchungsverfahren	260
Zylinderstauchversuch. Verdrehversuch (Torsionsversuch). Biegeversuch. Härteprüfung. Fließkriterien.	
C 1.1.1.3 Möglichkeiten zur Festigkeitssteigerung von Stahl durch Beeinflussung des Gefüges	262
Festigkeitssteigerung durch Kornfeinung, durch Mischkristallbildung, durch Versetzungen, durch Ausscheidungen. Kombination der Möglichkeiten zur Festigkeitssteigerung, Einfluß des Gefüges.	
C 1.1.1.4 Anisotropie des Fließverhaltens	278
Einfluß der Textur. Einfluß von Eigenspannungen.	
C 1.1.2 Zähigkeit und Bruchverhalten	279
C 1.1.2.1 Kennzeichnung der Brucharten	280
C 1.1.2.2 Äußere Einflüsse auf das Bruchverhalten	284
Einfluß von Temperatur und Beanspruchungsgeschwindigkeit. Einfluß des Spannungszustandes.	
C 1.1.2.3 Ablauf der Vorgänge beim Bruch	293
C 1.1.2.4 Verfahren zur Prüfung des Zähigkeits- und Bruchverhaltens	294
Prüfung mit Kleinproben. Prüfung mit bauteilähnlichen Proben. Vergleich der Verfahren, Übertragbarkeit der Ergebnisse.	
C 1.1.2.5 Einfluß des Gefüges auf Zähigkeit und Bruchverhalten	306
C 1.1.2.6 Modellvorstellungen zum Bruchvorgang	313
Metallkundliche Deutung des Spaltbruchs. Vorgänge beim Gleitbruch. Bruchmechanik. Sicherheitskonzepte.	
C 1.1.3 Gefüge mit optimaler Kombination von Festigkeit und Zähigkeit	337
C 1.2 Verhalten bei wechselnder Beanspruchungsrichtung und bei Temperaturen um und unter Raumtemperatur	341
C 1.2.1 Einmaliger Wechsel der Beanspruchungsrichtung (Bauschinger-Effekt)	341
C 1.2.2 Verhalten bei schwingender Beanspruchung	345
C 1.2.2.1 Prüfverfahren	345
C 1.2.2.2 Diskussion der Einzelprozesse	350
Anrißfreie Phase. Rißbildung und -ausbreitung.	
C 1.2.2.3 Einflußgrößen für das Verhalten bei schwingender Beanspruchung	358
Einfluß der Beanspruchungsart, des Gefüges, der Geometrie und der Umgebung	
C 1.2.2.4 Betriebsfestigkeit	368
C 1.2.2.5 Vorhersage der Lebensdauer	372
C 1.3 Verhalten bei höheren Temperaturen	374
C 1.3.1 Verhalten bei leicht erhöhten Temperaturen	375
C 1.3.2 Verhalten bei der Warmumformung	377
C 1.3.2.1 Messung der Fließspannung (Formänderungsfestigkeit)	377
C 1.3.2.2 Im Werkstoff ablaufende Vorgänge bei der Warmumformung	381
C 1.3.3 Zeitstandverhalten	383
C 1.3.3.1 Prüfung des Zeitstandverhaltens	384
C 1.3.3.2 Verhalten unter komplexen Beanspruchungen	389
C 1.3.3.3 Deutung	393
Beim Kriechen ablaufende Vorgänge. Bruchverhalten. Einfluß des Gefüges.	

C 2	Physikalische Eigenschaften	401
	Von W. Pepperhoff	
C 2.1	Physikalische Eigenschaften des reinen Eisens	401
C 2.1.1	Kristallstruktur und Atomvolumen	401
C 2.1.2	Wärmekapazität	404
C 2.1.3	Elastische Eigenschaften	406
C 2.1.4	Magnetische Eigenschaften	406
C 2.1.5	Leitungseigenschaften	410
C 2.1.6	Optische Eigenschaften	412
C 2.1.7	Eigenschaften des γ -Eisens im instabilen Temperaturbereich	413
C 2.2	Physikalische Eigenschaften von α -Eisenmischkristallen	415
C 2.3	Physikalische Eigenschaften von γ -Eisenmischkristallen	419
C 2.3.1	Magnetismus der γ -Eisenlegierungen	419
C 2.3.2	Wärmeausdehnung und Wärmekapazität	425
C 2.4	Weitere Gefügeeinflüsse auf die physikalischen Eigenschaften	428
C 2.4.1	Einphasige Gefüge mit Gitterstörungen	428
C 2.4.2	Mehrphasige Gefüge	430
C 3	Chemische Eigenschaften	434
	Von H.-J. Engell und H. J. Grabke	
C 3.1	Problemstellung	434
C 3.2	Gleichgewichte des Eisens mit Gasen	435
C 3.2.1	Gleichgewichte, Fehlordnung der Oxide und Diffusion im System Eisen-Sauerstoff	436
C 3.2.2	Gleichgewichte, Fehlordnung der Sulfide und Diffusion im System Eisen-Schwefel	438
C 3.2.3	Gleichgewichte der wichtigsten Legierungselemente mit Sauerstoff und Schwefel	440
C 3.3	Kinetik und Mechanismen der Reaktionen mit Gasen	442
C 3.3.1	Sauerstoffadsorption, Oxidfilme, Keimbildung	442
C 3.3.2	Oxidation von Eisen	444
C 3.3.3	Oxidation von Stählen	448
	Kohlenstoff im Stahl. Legierungen mit edleren Legierungskomponenten. Legierungen mit unedleren Legierungskomponenten. Unlegierte und niedriglegierte Stähle. Hochlegierte Stähle.	
C 3.3.4	Sulfidierung von Eisen und Stählen	452
C 3.3.5	Aufkohlung und Entkohlung	453
C 3.3.6	Aufstickung und Entstickung	456
C 3.4	Elektrochemische Gleichgewichte des Eisens und der Legierungselemente Nickel und Chrom mit wäßrigen Elektrolyten	459
C 3.5	Kinetik und Mechanismen der elektrochemischen Korrosion des Eisens und der Stähle	461
C 3.5.1	Abtragende Korrosion	461
C 3.5.2	Atmosphärische Korrosion	465
C 3.6	Passivierung von Eisen, Nickel, Chrom und der Legierungen des Eisens mit Nickel und Chrom	466
C 3.7	Selektive Korrosion des passiven Eisens und seiner Legierungen	470
C 3.7.1	Lochfraß und Spaltkorrosion	471
C 3.7.2	Interkristalline Korrosion	472
C 3.8	Spannungsrißkorrosion	475
C 3.8.1	Allgemeines	475
C 3.8.2	Spannungsrißkorrosion in austenitischen Chrom-Nickel-Stählen	476
C 3.8.3	Spannungsrißkorrosion von unlegierten Baustählen	477
C 3.9	Aufnahme von Wasserstoff durch Eisen bei Korrosionsvorgängen und Wasserstoffversprödung	479
C 3.9.1	Wasserstoffaufnahme	479
C 3.9.2	Wasserstoffversprödung	481

C 4	Eignung zur Wärmebehandlung	483
	Von H. P. Hougardy	
C 4.1	Begriffsbestimmungen	483
C 4.2	Einfluß der Gefügeausbildung auf die Eigenschaften	485
C 4.2.1	Einfluß der Ausbildung kennzeichnender Gefüge auf die mechanischen Eigenschaften	485
	Zusammenhang zwischen Festigkeit und Zähigkeit. Gefüge der Perlitstufe. Gefüge der Bainitstufe. Gefüge der Martensitstufe. Mischgefüge. Gefüge nach Anlassen.	
C 4.3	Während und nach einer Wärmebehandlung auftretende Spannungen	500
C 4.4	Einfluß der Abmessungen von Werkstücken auf die Gefügeausbildung nach einer Wärmebehandlung	502
C 4.5	Gesteuerte Einstellung einer Korngröße	506
C 4.6	Einstellung eines über den Querschnitt gleichmäßigen Gefüges	508
C 4.6.1	Erzeugen eines nicht dem Gleichgewicht entsprechenden Gefüges	508
	Umwandlung zu Gefügen der Perlitstufen. Umwandlung zu Gefügen der Bainitstufe. Umwandlungen in der Martensitstufe.	
C 4.6.2	Änderung eines Gefüges in Richtung auf das Gleichgewicht	514
	Ausscheidungen aus übersättigten Mischkristallen.	
C 4.6.3	Bildung von Gefügen unter Einbeziehung einer Umformung	519
C 4.7	Einstellung eines über den Querschnitt ungleichmäßigen Gefüges	522
C 4.7.1	Wärmebehandlung ohne Änderung der chemischen Zusammensetzung	522
C 4.7.2	Wärmebehandlung unter Änderung der chemischen Zusammensetzung	523
	Einsatzhärten. Verschleiß-Schutzschichten.	
C 5	Eignung zum Schweißen	529
	Von H. P. Hougardy	
C 5.1	Definitionen und Begriffe	530
C 5.2	Übersicht über die Schweißverfahren	532
C 5.3	Aus Konstruktion und Schweißbedingungen sich ergebende Temperatur-Zeit-Verläufe bei Erwärmung und Abkühlung	534
C 5.3.1	Erwärmung	534
C 5.3.2	Abkühlung	538
C 5.4	Auswirkung der Temperatur-Zeit-Verläufe auf Grundwerkstoff und Schweißgut	541
C 5.4.1	Beschreibung der entstehenden Gefüge durch ZTU-Schaubilder	541
C 5.4.2	Eigenschaften der Schweißzone und der Wärmeeinflußzone	546
	Mechanische Eigenschaften. Sonstige Eigenschaften.	
C 5.4.3	Entstehung und Auswirkung von Spannungen	551
C 5.4.4	Durch Nichtbeachten von Werkstoffeigenschaften bedingte Fehler	552
	Heißrisse. Kaltrisse. Durch Wasserstoff beeinflusste Risse. Ausscheidungsrisse. Lamellenrisse.	
C 5.5	Wärmebehandlung von Schweißverbindungen	559
C 5.6	Beurteilung der Schweißeignung	561
C 5.6.1	Das Kohlenstoffäquivalent	561
C 5.6.2	Schweißversuche	562
C 5.6.3	Bewertung nach kausalen Zusammenhängen	562
C 6	Warmumformbarkeit	564
	Von P.-J. Winkler und W. Dahl	
C 6.1	Allgemeines	564
C 6.2	Kennwerte für die Warmumformbarkeit und ihre Ermittlung	564
C 6.3	Einflußgrößen für das Formänderungsvermögen	565
C 6.3.1	Einfluß des Spannungszustandes	565

C 6.3.2	Einfluß des Werkstoffs	567
	Warmumformbarkeit einphasiger Legierungen. Warmumformbarkeit zwei- und mehrphasiger Legierungen.	
C 6.4	Warmumformbarkeit verschiedener Stahlgruppen	576
C 7	Kalt-Massivumformbarkeit	578
	Von W. Schmidt	
C 7.1	Allgemeines	578
C 7.2	Kennwerte für die Kalt-Massivumformbarkeit und ihre Ermittlung	579
C 7.2.1	Fließspannung (Formänderungsfestigkeit), Formänderungsvermögen	579
C 7.2.2	Fließkurve	580
	Allgemeines. Einfluß des Prüfverfahrens auf den Verlauf der Fließkurve. Einfluß der Umformgeschwindigkeit und Eigenerwärmung beim Versuch. Ableitung der Fließkurve aus anderen Werkstoffkennwerten.	
C 7.3	Einflußgrößen für die Kalt-Massivumformbarkeit	584
C 7.3.1	Allgemeine Zusammenhänge	584
C 7.3.2	Einfluß der chemischen Zusammensetzung und des Gefüges	587
C 8	Kaltumformbarkeit von Flachzeug	595
	Von W. Müschenborn, W. Küppers und D. Grzesik	
C 8.1	Allgemeines	595
C 8.2	Bewertungskriterien für die Kaltumformbarkeit	596
C 8.2.1	Grundsätzliche Anforderungen	596
C 8.2.2	Kennwerte des Zugversuchs	596
C 8.2.3	Kennwerte des Kerbzugversuchs	599
C 8.2.4	Kennwerte aus nachbildenden und technologischen Prüfverfahren	600
C 8.2.5	Oberflächenmerkmale	600
C 8.2.6	Kennzeichnung der Umformbeanspruchung	603
C 8.3	Werkstoffeinflüsse auf die Kaltumformbarkeit weicher und hochfester Stähle	603
C 8.3.1	Allgemeine Kennzeichnung der Einflußgrößen für die Kaltumformbarkeit von Flachzeug	603
C 8.3.2	Chemische Zusammensetzung und Gefügeausbildung	604
C 8.3.3	Reinheitsgrad (Freiheit von nichtmetallischen Einschlüssen)	612
C 8.3.4	Textur	613
C 8.3.5	Oberflächenzustand	614
C 8.3.6	Oberflächenveredlung	615
C 9	Zerspanbarkeit	616
	Von W. Knorr und H. Vöge	
C 9.1	Grundlagen und Begriffe der Zerspanung und Zerspanbarkeit	616
C 9.2	Zusammenhang zwischen mechanischen Eigenschaften und Zerspanbarkeit	618
C 9.3	Einfluß des Gefüges	620
C 9.3.1	Ferrit-Perlit-Gefüge	620
C 9.3.2	Martensit- und Bainitgefüge	622
C 9.3.3	Körniger Zementit	623
C 9.3.4	Austenitisches Gefüge	623
C 9.4	Einfluß von nichtmetallischen Einschlüssen	623
C 9.4.1	Sulfide	623
C 9.4.2	Oxide	626
C 9.5	Verbesserung der Zerspanbarkeit durch Legieren mit Blei, Wismut, Selen oder Tellur	628
C 9.6	Hinweise zur Bearbeitung, Berechnung von Schnittbedingungen und auf Sonderverfahren	628

C 10	Verschleißwiderstand	630
	Von E. Stolte	
C 10.1	Abhängigkeit des Verschleißwiderstands vom Verschleißmechanismus	630
C 10.2	Einfluß von Gefüge und Eigenschaften der Stähle auf ihren Widerstand gegen die hauptsächlichen Verschleißmechanismen	632
C 10.2.1	Abrasion (Furchungverschleiß)	632
C 10.2.2	Oberflächenzerrüttung (Ermüdungverschleiß)	634
C 10.2.3	Adhäsion (Haftverschleiß)	636
C 10.2.4	Tribochemische Reaktion (Schichtverschleiß)	637
C 10.2.5	Kombinierte Verschleißvorgänge	637
C 10.3	Einfluß von Gefüge und Eigenschaften der Stähle auf das Einsetzen bestimmter Verschleißmechanismen	638
C 10.3.1	Vermeidung der Abrasion	638
C 10.3.2	Vermeidung der Adhäsion	639
C 10.4	Schlußbemerkung	641
C 11	Schneidhaltigkeit	643
	Von H.-J. Becker	
C 11.1	Begriffsbestimmung für Schneidhaltigkeit	643
C 11.2	Einflüsse auf die Schneidhaltigkeit	643
C 11.3	Abhängigkeit der Schneidhaltigkeit vom Gefüge des Stahls	643
C 11.3.1	Einteilung der Stahlsorten nach Zusammensetzung und Gefüge	644
C 11.3.2	Erzielung des für Schneidhaltigkeit günstigen Gefüges	647
C 11.4	Hartmetallegerierungen und Oxidkeramik	647
C 11.4.1	Hartmetalle	648
C 11.4.2	Oxidkeramik	649
C 11.5	Einfluß von Schneidengeometrie und Arbeitsbedingungen auf die Schneidhaltigkeit	649
C 11.6	Prüfung der Schneidhaltigkeit	651
C 11.6.1	Temperaturstandzeit-Drehversuch	651
C 11.6.2	Verschleißstandzeit-Versuch	652
C 11.6.3	Temperaturstandzeit-Drehversuch mit ansteigender Schnittgeschwindigkeit	653
C 11.6.4	Notwendigkeit von Prüfverfahren in Anpassung an die Betriebsbedingungen	654
C 12	Eignung zur Oberflächenveredlung	654
	Von U. Tenhaven, Y. Guinomet, D. Horstmann, L. Meyer und W. Pappert	
C 12.1	Allgemeines	654
C 12.2	Eignung zur Oberflächenveredlung durch Aufbringen metallischer Überzüge nach Schmelztauchverfahren	656
C 12.2.1	Allgemeingültiges zu den Verfahren	656
C 12.2.2	Eignung zum Feuerverzinken	656
C 12.2.3	Eignung zum Feueraluminieren	661
C 12.2.4	Eignung zum Schmelztauchen in Aluminium-Zink-Legierungen	662
C 12.2.5	Eignung zum Feuerverzinnen	663
C 12.2.6	Eignung zum Feuerverbleien	663
C 12.3	Eignung zur Oberflächenveredlung durch elektrolytisch aufgebrachte Metallüberzüge	663
C 12.3.1	Allgemeingültiges zu den Verfahren	663
C 12.3.2	Eignung zum elektrolytischen Verzinnen	665
C 12.4	Eignung zur Oberflächenveredlung durch Aufbringen metallischer Überzüge nach sonstigen Verfahren	665
C 12.4.1	Allgemeines	665
C 12.4.2	Eignung zum Plattieren	665
C 12.4.3	Eignung zum Abscheiden im Vakuum oder aus der Gasphase	666

C 12.4.3	Eignung zum Abscheiden im Vakuum oder aus der Gasphase	666
C 12.4.4	Eignung zum Diffusionsglühen im Einsatzverfahren	668
C 12.4.5	Eignung für Spritzverfahren	668
C 12.5	Eignung zur Oberflächenveredlung durch Aufbringen anorganischer Überzüge: Emaillieren	669
C 12.6	Eignung zum Aufbringen anorganischer Überzüge nach sonstigen Verfahren	672
C 12.7	Eignung zum Beschichten mit organischen Stoffen	673
Zusammenstellung wiederholt verwendeter Kurzzeichen		675
Literaturverzeichnis		679
Sachverzeichnis		721

Inhaltsverzeichnis von Band 2

Teil D Stähle mit kennzeichnenden Eigenschaften für bestimmte Verwendungsbereiche

D 1	Allgemeiner Überblick über den Teil D und seine Zielsetzung Von W. Schlüter
D 2	Normalfeste und hochfeste Baustähle Von B. Müsgen, H. de Boer, H. Fröber und J. Petersen
D 3	Bewehrungsstähle für den Stahlbeton- und Spannbetonbau Von H. Weise, W. Bartels, W.-D. Brand und W. Krämer
D 4	Stähle für warmgewalzte, kaltgewalzte und oberflächenveredelte Flacherzeugnisse zum Kaltumformen Von Chr. Straßburger, B. Henke, B. Meuthen, L. Meyer, J. Siewert und U. Tenhaven
D 5	Vergütbare und oberflächenhärtbare Stähle für den Fahrzeug- und Maschinenbau Von G. Tacke, K. Forch, K. Sartorius, A. von den Steinen und K. Vetter
D 6	Stähle mit Eignung zur Kalt- Massivumformung Von H. Gulden und I. Wiesenecker-Krieg
D 7	Walzdraht zum Kaltziehen Von H. Beck und C. M. Vlad
D 8	Höchstfeste Stähle Von K. Vetter, E. Gondolf und A. von den Steinen
D 9	Warm- und hochwarmfeste Stähle Von H. Fabritius, D. Christianus, K. Forch, M. Krause, H. Müller und A. von den Steinen
D 10	Kaltzähe Stähle Von M. Haneke, J. Degenkolbe, J. Petersen und W. Weßling

- D 11 Werkzeugstähle**
Von S. Wilmes, H.-J. Becker, R. Krumpholz und W. Verderber.
- D 12 Verschleißbeständige Stähle**
Von H. Berns
- D 13 Nichtrostende Stähle**
Von W. Heimann, R. Oppenheim und W. Weßling
- D 14 Druckwasserstoffbeständige Stähle**
Von E. Märker
- D 15 Hitzebeständige Stähle**
Von W. Weßling und R. Oppenheim
- D 16 Widerstands- und Heizleiterlegierungen**
Von H. Thomas
- D 17 Stähle für Ventile von Verbrennungsmotoren**
Von W. Weßling und F. Ulm
- D 18 Federstähle**
Von D. Schreiber und I. Wiesenecker-Krieg
- D 19 Automatenstähle**
Von G. Becker und H. Sutter
- D 20 Weichmagnetische Werkstoffe**
Von E. Gondolf, F. Abmus, K. Günther, A. Mayer, H.-G. Ricken und K.-H. Schmidt
- D 21 Dauermagnetwerkstoffe**
Von H. Stäblein und H.-E. Arntz
- D 22 Nichtmagnetisierbare Stähle**
Von W. Heimann und W. Weßling
- D 23 Stähle mit bestimmter Wärmeausdehnung**
Von H. Thomas und H. Haas
- D 24 Stähle mit guter elektrischer Leitfähigkeit**
Von K. Weber und H. Beck
- D 25 Stähle für Fernleitungsrohre**
Von G. Kalwa, K. Kaup und C. M. Vlad
- D 26 Wälzlagerstähle**
Von K. Barteld und A. Stanz
- D 27 Stähle für den Eisenbahn-Oberbau**
Von W. Heller, H. Klein und H. Schmedders
- D 28 Stähle für rollendes Eisenbahnzeug**
Von K. Vogt, K. Forch und G. Oedinghofen
- D 29 Stähle für Schrauben, Muttern und Niete**
Von K. Barteld und W.-D. Brand
- D 30 Stähle für geschweißte Rundstahlketten**
Von H.-H. Domalski, H. Beck und H. Weise

**Teil E Einfluß der Erzeugungsbedingungen auf chemische Zusammensetzung,
Gefüge und Eigenschaften des Stahls**

- E 1 Allgemeine Übersicht über die Bedeutung der Erzeugungsbedingungen für die Eigenschaften der Stähle und der Stahlerzeugnisse**
Von A. Randak
- E 2 Rohstahlerzeugung**
Von H. Peter Haastert
- E 3 Gießen und Erstarren**
Von P. Hammerschmid
- E 4 Sonderverfahren des Erschmelzens und Vergießens**
Von H. Vöge
- E 5 Warmumformung durch Walzen**
Von K. Täffner
- E 6 Warmumformung durch Schmieden**
Von H. G. Ricken
- E 7 Kaltumformung durch Walzen**
Von J. Lippert
- E 8 Wärmebehandlung**
Von H. Vöge
- E 9 Qualitätssicherung bei der Herstellung von Hüttenwerkserzeugnissen**
Von W. Rohde, R. Dawirs, F. Helck und K.-J. Kremer