

Inhalt

Vorwort	V
Einleitung	VII
1. Thermodynamische Abläufe bei Wärmebehandlungen	1
2. Verknüpfung thermodynamischer und metallurgischer Vorgänge	7
3. Thermodynamische Vorgänge, Temperaturverteilungen bei Wärmebehandlungen	17
3.1 Temperaturverteilungen in den Werkstücken	18
3.2 Stationäre Wärmeleitungen	24
3.3 Instationäre Wärmebehandlungsvorgänge	25
3.4 Berechnung der Temperaturverteilungen bei instationären Wärmebehandlungen	26
3.5 Ermittlung instationärer Temperaturverteilungen in Werkstücken	27
3.5.1 Grafisches Differenzenverfahren als Näherungslösung der Fourier-differentialgleichungen nach Schmidt	27
3.5.2 Ermittlung der instationären Temperaturverteilungen mit vorberechneten Termen der Fourier-differentialgleichungen	31
4. Aufheizvorgänge auf Wärmebehandlungstemperaturen	37
4.1 Arten der Wärmeenergiezufuhr bei Aufheizvorgängen	38
4.2 Erwärmungsvorgänge in Ofenanlagen mit Heißgasatmosphären	39
4.3 Aufheizprozesse in Ofenanlagen ohne und mit Wärmebehandlungsgut	48
4.4 Genauigkeit der Temperaturverteilungen in Ofenräumen	55
4.5 Einfluss der Heizleistung einer Ofenanlage	58
4.6 Art und Anordnung der Wärmebehandlungschargen und -bauteile in Ofenräumen	58
4.7 Gesichtspunkte zur Erwärmungszeitdauer	61
4.8 Wärmebehandlungen von Bauteilwerkstücken als Schüttgut	64
4.9 Erwärmungsvorgänge durch Strahlung im Vakuum und auch mit zusätzlicher Konvektion in Atmosphärenöfen	71
4.10 Erwärmungsvorgänge durch Kontakt mit heißen Partnern sowie mit flüssigen, heißen Medien	76
4.11 Erwärmungsvorgänge durch Induktionsströme	79
4.11.1 Randschichthärteverfahren	83
4.11.2 Induktive, durchgreifende Erwärmungen zur Warmumformung von Rohlingen	86

5. Abkühlungsvorgänge	93
5.1 Abkühlungsvorgänge von Austenittemperaturen ohne Bildung von Zwangsgefügen	94
5.1.1 Langsame Abkühlungen umwandlungsfähiger Stahlsorten aus Austenittemperaturen zur Einstellung ferritisch-perlitischer Gefüge, Gefügezustände möglichst nahe den metallurgischen Gleichgewichten	94
5.1.2 Schnelle Abkühlungen von Austenittemperaturen zur Aufrechterhaltung homogener Lösungszustände austenitischer Stahlsorten	95
5.2 Schnelle Abkühlvorgänge von Austenittemperaturen zur Bildung von Zwangsgefügen	95
5.2.1 Abschreckwärmebehandlungen härtbarer Stahlsorten	95
5.2.2 Abkühlverhalten von Kühlmedien bzw. Abschreckmedien	100
5.2.3 Einfluss von Oberflächenzuständen	110
5.2.4 Eigenschaften von Abkühlmedien, Abkühlverhalten	114
5.3 Schnelle Abkühlvorgänge zur Einstellung erwünschter Eigenschaften	123
5.3.1 Härt(en) von Stahl	123
5.3.2 Anlassen gehärteter Stähle	144
5.3.3 Isotherme Umwandlungen	147
5.4 Abkühlungs- und Abschreckeinrichtungen – Einfluss auf Abkühlvorgänge	157
5.4.1 Abkühlungsmöglichkeiten	157
5.4.2 Abkühlungs- und Abschreckeinrichtungen	158
5.4.2.1 Normale, offene Abschreckbäder (Wasser, Polymer, Öl)	158
5.4.2.2 Abschreckbäder integriert in Mehrzweck-Kammerofenanlagen	162
5.4.2.3 Gasabschreckung in Vakuumofenanlagen	165
5.4.2.4 Hochdruckgasabschreckkammern	167
5.4.2.5 Gasjet-Abschreckeinrichtungen durch Düsen	171
5.4.2.6 Sprühwasserabschreckeinrichtungen	171
5.4.2.7 Salzwarmbäder	174
5.5 Einfluss von Chargenzusammenstellungen und Chargierungen	177
5.6 Einfluss von Schüttgutchargierungen	179
Stichwortverzeichnis	189