

<u>Inhaltsverzeichnis</u>		Seite
	Formelzeichen	VIII
1	Einleitung und Problemstellung	1
2	Kenntnisstand	5
2.1	Werkstoffkundliche Grundlagen	5
2.2	Verfahren zur Erfassung des Wärmeübergangs	7
2.2.1	Indirekte Prüfverfahren	7
2.2.2	Direkte Prüfverfahren	10
2.3	Einflußgrößen des Wärmeübergangs	16
2.4	Anwendung bei der rechnerischen Simulationen des Härtevorgangs	20
2.5	Das QTA-Modell	22
3	Werkstoffe, Probenformen, Wärmebehandlungszustände	27
3.1	Ausgangszustände	27
3.1.1	Chemische Analysen	28
3.1.2	Härtbarkeit	29
3.1.3	Gefüge	30
3.2	Probenformen	30
3.3	Gefüge der Kugelproben	34
3.4	Wärmebehandlungszustände für die Ermittlung der mechanischen Eigenschaften	36
3.5	Homogenisierter Zustand des 46 Cr 2	41
4	Versuchseinrichtungen	43
4.1	Abschreckvorrichtung	43
4.1.1	Rohrofen	43
4.1.2	Abschreckbad	44
4.1.3	Temperaturmessung	46
4.2	Maßänderungsmessungen	49
4.3	Eigenspannungsmessungen	50
4.4	Härtemessungen	51
4.5	Quantitative Gefügeanalyse	51
4.6	Warmzugversuche	52

5	Experimentelle Resultate	52
5.1	Aufheizverlauf und Temperaturprofil des Rohrofens	52
5.2	Ergebnisse der Abschreckversuche	54
5.2.1	Probentyp Zylinder, ϕ 28 mm, 46 Cr 2 (ZK)	58
5.2.1.1	Abkühlverläufe	58
5.2.1.2	Maßänderungen	63
5.2.1.3	Eigenspannungen	69
5.2.1.4	Härte	73
5.2.1.5	Gefüge	75
5.2.2	Probentyp Kugel, ϕ 28 mm, 46 Cr 2 (KK)	78
5.2.2.1	Abkühlverläufe	78
5.2.2.2	Maßänderungen	83
5.2.2.3	Eigenspannungen	84
5.2.2.4	Härte	87
5.2.3	Probentyp Zylinder, ϕ 50 mm, 42 CrMo 4 (ZG)	87
5.2.3.1	Abkühlverläufe	89
5.2.3.2	Maßänderungen	89
5.2.3.3	Eigenspannungen	98
5.2.3.4	Härte	98
5.2.4	Probentyp Kugel, ϕ 50 mm, 42 CrMo 4 (KG)	101
5.2.4.1	Abkühlverläufe	101
5.2.4.2	Maßänderungen	106
5.2.4.3	Eigenspannungen	107
5.2.4.4	Härte	109
5.2.4.5	Gefüge	112
5.3	Warmzugversuche	114
5.4	Diskussion der Meßergebnisse	116
5.4.1	Abkühlverläufe	116
5.4.2	Maßänderungen	117
5.4.3	Eigenspannungen	120
5.4.4	Härte und Gefüge	120
6	Kenngrößen des Wärmeübergangs	123
6.1	Ermittlung der QTA-Parameter	123
6.1.1	Stoffwerte	124
6.1.2	Modellparameter Wärmestromdichte in der Filmphase, Leidenfrosttemperatur, fiktive Radiusvergrößerung und Wärmeübergangskoeffizient in der Konvektionsphase	129
6.1.3	Kalibrierkurve Q-Wert gegen Härte	142

5.2	Modifiziertes QTA-Modell	145
5.3	Ermittlung der Polynomdarstellung des Wärmeübergangs- koeffizienten	147
5.4	Diskussion der Wärmeübergangskenngrößen	149
7	Eingangsgrößen für Finite-Elemente-Rechnungen und ihre mathematische Beschreibung	155
7.1	Thermische Eigenschaften	156
7.2	Umwandlungsverhalten	157
7.2.1	Werkstoff 46 Cr 2	157
7.2.2	Werkstoff 42 CrMo 4	163
7.3	Mechanische Eigenschaften	164
8	Vergleich der Rechenergebnisse und der Messungen	166
8.1	Abkühlverläufe	166
8.2	Härte und Gefüge	170
8.3	Maßänderungen	175
8.4	Eigenstressungen	182
8.5	Diskussion der Wärmeübergangsmodelle	184
9	Zusammenfassung	188
10	Anhang	191
10.1	Polynomkoeffizienten zur Beschreibung der Tempera- turabhängigkeit der untersuchten Wärmeübergangskoeff- fizienten	191
10.2	Polynomkoeffizienten zur Beschreibung der Spannungs- Dehnungs-Kurven des Stahls 46 Cr 2 in Abhängigkeit von Temperatur und Gefügestand	194
11	Schrifttum	196