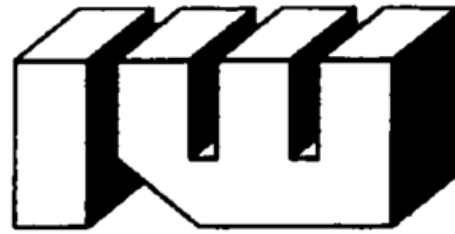


BERICHTE AUS DEM  
INSTITUT FÜR  
WERKSTOFFKUNDE



UNIVERSITÄT HANNOVER

WERKSTOFFTECHNIK

Dipl.-Ing. Franz Niemeyer, Ismaning

# **Beitrag zur Wärmebehandlung von Zahnradern durch flüssige und gasförmige Abschreckmedien**

Fortschritt-Berichte VDI  
Reihe **2**: Fertigungstechnik

Nr. **458**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Formelzeichen und Abkürzungen</b>	<b>VI</b>
<b>Abstract</b>	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Aufgabenstellung und Ziel der Arbeit</b>	<b>2</b>
<b>3 Stand von Wissenschaft und Technik</b>	<b>4</b>
3.1 Grundlagen zum Wärmetransport und zur Wärmeübertragung	4
3.1.1 Wärmestrahlung	4
3.1.2 Wärmeleitung	5
3.1.3 Konvektion	5
3.1.4 Wärmetransport und -übertragung bei gasförmigen Abschreckmedien	6
3.1.5 Wärmetransport und -übertragung bei flüssigen Abschreckmedien	9
3.2 Metallkundliche Grundlagen	13
3.2.1 Zustandsdiagramm Eisen-Kohlenstoff	13
3.2.2 Umwandlung aus dem austenitischen Gebiet	14
3.2.3 Metallkundliche Vorgänge beim Wiedererwärmen von Martensit	17
3.2.4 Ursachen und Entstehungsmechanismen von Eigenspannungen	18
3.2.5 Maßänderungen und Verzug	20
3.3 Wärmebehandlungsverfahren	22
3.3.1 Randschichthärteverfahren ohne thermochemische Diffusionsbehandlung	22
3.3.2 Randschichthärteverfahren mit thermochemischer Diffusionsbehandlung	24
3.3.3 Hochdruckgasabschreckung	27
3.3.4 Prozeßintegrierte Wärmebehandlung beim Schmieden	29
<b>4 Eigenschafts- und Anforderungsprofil eines Zahnrades</b>	<b>31</b>
4.1 Schadensarten	31
4.2 Eigenschaften eines Zahnrades infolge der Wärmebehandlung	33
<b>5 Versuchsaufbau</b>	<b>37</b>
5.1 Aufbau eines Modellversuchsstandes	37
5.1.1 Schutzgasofen und Abschreckeinrichtung	37
5.1.2 Handhabungseinheit zur Wärmebehandlung von Segmenten	40
5.1.3 Handhabungseinheit zur Wärmebehandlung von Zahnrädern	41
5.2 Temperaturmeßeinrichtungen	45
<b>6 Versuchsdurchführung</b>	<b>48</b>
6.1 Auswahl der Versuchswerkstoffe	48
6.1.1 Einsatzstahl	48

6.1.2	Vergütungsstahl	50
6.2	Bestimmung der Versuchsparameter	51
6.2.1	Abschreckmedien und Abschreckintensitäten	51
6.2.2	Temperaturvariation und Wärmebehandlung	53
6.2.3	Wärmebehandlung von Zahnrädern	53
6.3	Untersuchungsmethoden	54
6.3.1	Temperaturmessungen	54
6.3.2	Metallographische Untersuchungen	56
6.3.3	Mechanisch-technologische Untersuchungen	56
6.3.4	Eigen Spannungsmessungen	57
6.3.5	Vermessung der Zahnradgeometrie	57
<b>7</b>	<b>Versuchsergebnisse</b>	<b>59</b>
7.1	Temperaturmessungen	59
7.1.1	Temperaturmessungen an Segmenten	59
7.1.2	Temperaturmessungen an Zahnrädern	63
7.1.3	Vergleich der Abkühlwirkung der Öl- und Wassertauchkühlung mit der neuen Wärmebehandlungstechnik	70
7.1.4	Infrarotthermographie	72
7.2	Oberflächenzustand und Gefügeausbildung	73
7.2.1	Gefügeausbildung wärmebehandelter Zahnräder (16 MnCr 5)	75
7.2.2	Gefügeausbildung an wärmebehandeltem C 60	81
7.3	Festigkeitsbefund	84
7.3.1	Einfluß der Austenitisierungstemperatur auf die Oberflächenhärte	84
7.3.2	Festigkeitsbefund an wärmebehandelten Zahnrädern	85
7.3.2.1	Werkstoff 16 MnCr 5	85
7.3.2.2	Vergleich der Festigkeit bei Verwendung unterschiedlicher Abschreckmedien (Werkstoff 16 MnCr 5)	92
7.3.2.3	Werkstoff C 60	93
7.4	Eigen Spannungszustand	95
7.5	Geometrie	98
7.5.1	Geometrieänderungen infolge konventioneller Abkühlmedien	98
7.5.2	Geometrieänderungen bei Verwendung der neuen Wärmebehandlungstechnik (CO <sub>2</sub> -Sprühnebel und CO <sub>2</sub> )	102
7.5.3	Geometrieänderungen aufgekohlter und umgeformter Rohteile	104
7.6	Ergebniskurzübersicht	107
<b>8</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse und Folgerungen</b>	<b>109</b>
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>115</b>
<b>10</b>	<b>Schrifttum</b>	<b>117</b>