

BERICHTE AUS DEM
INSTITUT FÜR
UMFORMTECHNIK UND
UMFORMMASCHINEN

UNIVERSITÄT HANNOVER



PRODUKTIONSTECHNIK

Dipl.-Ing. Andreas Lübbe, Osnabrück

Messung und Berechnung von wärmebehandlungs- bedingten Eigenspannungen in Gesenkschmiedestücken aus Stahl

Fortschritt-Berichte VDI

Reihe **5**: Grund- und Werkstoffe

Nr. **452**

Inhalt

Seite

Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen und Abkürzungen	VII
1. Einleitung und Zielsetzung	1
2. Stand der Kenntnisse	4
2.1 Thermomechanische Behandlung (TMB) von Gesenkschmiedestücken	5
2.2 Numerische Berechnung von Eigenspannungen	6
2.2.1 Vergleich von Verfestigungsmodellen	12
2.2.2 Untersuchungen zur Berechnung der Umwandlungsplastizität	13
3. Wärmebehandlungen und Warmzugversuche	15
3.1 Schmiede- und Wärmebehandlungsversuche	15
3.2 Warmzugversuche	16
3.2.1 Warmzugversuche an Proben aus dem Werkstoff Ck 45	16
3.2.2 Warmzugversuche an Proben aus dem Werkstoff 42CrMo 4	18
3.2.3 Warmzugversuche an Proben aus dem Werkstoff 38 MnSiVS 63	20
3.2.4 Diskussion der Ergebnisse aus den Warmzugversuchen	21
4. Röntgenographische Eigenspannungsmessungen	23
4.1 Grundlagen der röntgenographischen Spannungsmessung	23
4.1.1 Diffraktometerverfahren	23
4.1.2 Auswertung nach dem $\sin^2 \Psi$ -Verfahren	24
4.1.3 Fehlerbetrachtung bei der röntgenographischen Spannungsmessung	25
4.2 Gemessene Eigenspannungen	26
4.2.1 Gemessene Eigenspannungen an unterschiedlich wärmebehandelten Proben aus dem Werkstoff Ck 45	26
4.2.2 Gemessene Eigenspannungen an unterschiedlich wärmebehandelten Proben aus dem Werkstoff 42 CrMo 4	26
4.2.3 Gemessene Eigenspannungen an unterschiedlich wärmebehandelten Proben aus dem Werkstoff 38 MnSiVS 63	27
4.2.4 Diskussion der Meßergebnisse	28
5. Berechnung von Eigenspannungen mit der Methode der Finiten Elemente	29
5.1 Berechnung der Temperaturverteilungen infolge der Wärmebehandlung	30
5.1.1 Die Wärmeleitungsgleichung	30
5.1.2 Berechnung der Wärmetönung und Längenänderung	31

5.2 Mathematische Beschreibung der Phasenumwandlungen	33
5.2.1 Kopplungen zwischen Temperatur, Phasenumwandlungen und Spannungen	33
5.2.2 Mathematische Modelle zur Berechnung von Umwandlungen	33
5.2.2.1 Umwandlung in der Perlit- und Bainitstufe	33
5.2.2.2 Umwandlungen in der Martensitstufe	34
5.3 Die Gesamtdehnungsberechnung	35
5.4 Berechnung der Eigenspannungen	36
5.4.1 Eingangsdaten für das Berechnungsprogramm	37
5.4.1.1 Wärmeleitfähigkeit, Temperaturleitfähigkeit und Wärmeübergangszahl	37
5.4.1.2 Die mechanischen Kennwerte	38
5.4.1.3 Zeit-Temperatur-Umwandlungsschaubilder	40
5.4.2 Berechnete Eigenspannungen	41
6. Dauerschwingversuche an unterschiedlich wärmebehandelten Proben.....	42
6.1 Versuchsprogramm	43
6.2 Ergebnisse der Dauerschwingversuche	44
6.3 Diskussion der Versuchsergebnisse	45
7. Zusammenfassung und Ausblick	47
8. Tabellen und Bilder	50
9. Anhang	104
10. Literatur	137