

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Einleitung	1
1. Arten von Verzahnungsteilen	3
1.1. Aufgabe von Verzahnungen und Zahnradgetrieben	3
1.2. Unterscheidungsmerkmale von Verzahnungsteilen	3
2. Beanspruchung, Bauteileigenschaften und Verschleißschutzschichten	5
2.1. Beanspruchungen und Verschleiß	5
2.2. Verschleißschutzschichten und Dauerfestigkeit	8
3. Werkstoffe und Härteverfahren für Verzahnungsteile	12
3.1. Werkstoffe	12
3.2. Härteverfahren	13
3.2.1. Thermochemische Härteverfahren	15
3.2.2. Thermische Härteverfahren	16
4. Maß- und Formänderungen	18
4.1. Eigenspannungen, Lastspannungen und Verzug	18
4.2. Systematik der Maß- und Formänderungen	20
4.3. Praktische Möglichkeiten der Einflussnahme	21
4.3.1. Konstruktion	21
4.3.2. Fertigung bis zum Arbeitsgang Härten	22
4.3.3. Wärmebehandlung	24
4.3.3.1. Transport, Chargieren und Handling	24
4.3.3.2. Klassische Härteprozesse (Wärmebehandlung in Industrieöfen)	25
4.3.3.3. Thermische Randschichthärteverfahren	30
4.3.3.4. Anlassen	31
5. Einsatzhärten	32
5.1. Allgemeine Verfahrensbeschreibung	32
5.2. Werkstoffauswahl	38
5.3. Anlagentechnik und technologische Varianten	40
5.3.1. Aufkohlungs- und Härtetechnologien	40
5.3.2. Abschreckvorgang	49
5.3.3. Waschen	52
5.3.4. Tiefkühlen zur Restaustenit- Umwandlung	53
5.3.5. Anlassen	54

5.4.	Praktische Möglichkeiten und Toleranzen	54
5.5.	Härteprüfung	59
5.5.1.	Prüfung der Oberflächenhärte	59
5.5.2.	Härteverlauf	62
5.6.	Beispiele für praxisgerechte konstruktive Forderungen an einsatzgehärtete Verzahnungsteile	64
5.6.1.	Allseitige Einsatzhärtung	64
5.6.2.	Einsatzhärtung mit partiell unterschiedlichen Anforderungen	66
5.6.3.	Partielle Einsatzhärtung in mehreren Varianten	68
5.6.4.	Separate Darstellung der Aufkohlung in der Zeichnung	73
6.	Carbonitrieren	74
6.1.	Allgemeine Verfahrensbeschreibung	74
6.2.	Werkstoffauswahl	76
6.3.	Anlagentechnik und technologische Varianten	76
6.4.	Praktische Möglichkeiten und Toleranzen	77
7.	Aufkohlen mit anschließendem Randschichthärten	78
7.1.	Allgemeine Verfahrensbeschreibung und mögliche technologische Varianten	78
7.2.	Werkstoffauswahl	80
7.3.	Anlagentechnik	80
7.4.	Praktische Möglichkeiten und Toleranzen	81
8.	Nitrieren	82
8.1.	Allgemeine Verfahrensbeschreibung	82
8.1.1.	Vorbehandlungsprozesse	84
8.1.2.	Vorbereitung der Werkstücke auf den Nitrierprozess	86
8.1.3.	Partielles Nitrieren	86
8.1.4.	Chargierung	87
8.1.5.	Nachbearbeitung nitrierter Bauteile	87
8.2.	Werkstoffauswahl	87
8.3.	Anlagentechnik und technologische Varianten	91
8.3.1.	Gasnitrieren	91
8.3.2.	Plasmanitrieren	96
8.4.	Toleranzen und praktische Möglichkeiten	99
8.4.1.	Allseitige Nitrierung	99
8.4.2.	Örtlich begrenzte Nitrierung	99
8.5.	Anwendungsbereich bei Verzahnungsteilen	100
9.	Nitrocarburieren	103
9.1.	Allgemeine Verfahrensbeschreibung	103
9.2.	Werkstoffauswahl	104

9.3.	Anlagentechnik und technologische Varianten	105
9.3.1.	Gasnitrocarburieren	105
9.3.2.	Plasmanitrocarburieren	106
9.3.3.	Nachoxidieren nach dem Nitrocarburieren im Gas oder im Plasma	106
9.3.4.	Salzbadnitrocarburieren	107
9.4.	Toleranzen und praktische Möglichkeiten	108
9.4.1.	Allseitige Nitrocarburierung	109
9.4.2.	Örtlich begrenzte Nitrocarburierung	109
9.5.	Anwendungsbereich bei Verzahnungsteilen	109
10.	Borieren	111
10.1.	Allgemeine Verfahrensbeschreibung	111
10.2.	Werkstoffauswahl	112
10.3.	Anlagentechnik und Technologie	112
10.3.1.	Anlagentechnik	112
10.3.2.	Technologie	113
10.4.	Maßverhalten	115
10.5.	Zeichnungsangaben	115
11.	Beschichten von Zahnrädern	116
12.	Induktionshärten	120
12.1.	Allgemeine Verfahrensbeschreibung	120
12.2.	Werkstoffauswahl	129
12.3.	Anlagentechnik und technologische Varianten	130
12.3.1.	Anlagentechnik	130
12.3.2.	Darstellung und Anwendungsbereiche der vier Härtetechnologien	132
12.4.	Induktionshärten von Zahnstangen	147
12.4.1.	Einzelzahnhärtung von Zahnstangen mit großem Modul	147
12.4.2.	Allzahnhärtung von Zahnstangen mit kleinem Modul	148
12.4.3.	Induktives Anlassen allzahngehärteter Zahnstangen	150
12.4.4.	Konventionelles Anlassen von Zahnstangen	150
12.5.	Darstellung in der Zeichnung	151
12.5.1.	Allzahnhärtung (Durchhärtung der Zähne bis unter Zahngrund)	151
12.5.2.	Einzel-Zahnflankenhärtung	152
12.5.3.	Einzel-Zahnlückenhärtung	152
12.5.4.	Konturengetreues Härten	153
13.	Flammhärten	154
13.1.	Allgemeine Verfahrensbeschreibung	154
13.2.	Werkstoffauswahl	154
13.3.	Darstellung in der Zeichnung	154

14.	Anzustrebende Wärmebehandlungsergebnisse	155
14.1.	Optimale Oberflächenhärte	155
14.2.	Härtetiefe randschichtgehärteter Zahnräder	157
14.2.1.	Härtetiefe einsatzgehärteter und gehärteter Zahnräder	157
14.2.2.	Schichtdicke an nitrierten Zahnrädern	158
15.	Einsatzgebiete von Werkstoffen und Härteverfahren für Verzahnungsteile	159
16.	Literaturverzeichnis	160
17.	Sachwortverzeichnis	164