

Sumário

Apresentação	13
1. Introdução	15
2. Diagrama ferro-carbono (aços)	16
3. Microestruturas dos aços	21
3.1. Perlita, ferrita e cementita	21
3.2. Martensita	26
3.3. Austenita	27
3.4. Bainita	28
4. Diagramas de transformação	29
5. Influências da matéria-prima nos tratamentos térmicos	31
5.1. Seleção inadequada da liga	31
5.2. Geometria do componente	32
5.3. Defeito da matéria-prima	34
5.4. Defeitos provocados pela usinagem	35
6. Instalações e fornos para tratamento térmico	37
7. Tratamentos térmicos das ligas ferrosas	40
7.1. Alívio de tensões	40
7.2. Recozimento	41
7.2.1. Recozimento pleno	41
7.2.2. Recozimento para homogeneização	42
7.2.3. Recozimento de grão grosso	42
7.2.4. Recozimento subcrítico	43
7.2.5. Coalescimento ou esferoidização	44
7.3. Normalização	45
7.4. Têmpera e revenimento	47
7.4.1. Fragilidade ao revenimento	57
7.4.2. Cores de revenimento	57
7.5. Martêmpera e austêmpera	58
7.6. Tratamentos subzero e criogênicos	61

7.7. Tratamento térmico de aços-ferramenta	65
7.7.1. Carbonetos primários	73
7.7.2. Carbonetos secundários	73
7.8. Tratamento térmico dos aços inoxidáveis	75
7.8.1. Aços inoxidáveis austeníticos	76
7.8.2. Aços inoxidáveis ferríticos	78
7.8.3. Aços inoxidáveis martensíticos	79
7.8.4. Aços inoxidáveis duplex	84
7.8.5. Aços inoxidáveis endurecíveis por precipitação	85
7.9. Tratamento térmico dos ferros fundidos	88
7.9.1. Ferros fundidos cinzentos	90
7.9.2. Ferros fundidos nodulares	92
7.9.3. Ferro fundido branco	96
7.9.4. Ferro fundido maleável	97
8. Tratamentos termoquímicos e de superfície	99
8.1. Boretação	99
8.2. Nitretação	102
8.2.1. Nitretação gasosa	106
8.2.2. Processos modificados	106
8.2.3. Nitretação líquida	107
8.2.4. Nitretação a plasma ou iônica	110
8.3. Cementação	111
8.3.1. Cementação gasosa	113
8.3.2. Cementação líquida	113
8.3.3. Cementação sob vácuo	113
8.3.4. Cementação sólida	115
8.3.5. Carbonitretação	115
8.4. Tratamentos térmicos por chama e indução	116
8.4.1. Têmpera por chama	117
8.4.2. Têmpera por indução	118
9. Tratamento térmico das ligas de alumínio e cobre	119
9.1. Alumínio	119
9.1.1. Homogeneização	120
9.1.2. Recozimento	121
9.1.3. Alívio de tensões	121
9.1.4. Solubilização	121
9.1.5. Envelhecimento	123
9.2. Cobre	125
9.2.1. Latões	125
9.2.2. Bronzes	126

10. Defeitos após tratamento térmico	127
10.1. Distorções dimensionais	129
10.1.1. Distorções evitáveis: causas externas ao tratamento térmico	132
10.1.2. Condicionamento da matéria-prima	138
10.1.3. Causas internas ao tratamento térmico	144
10.1.4. Seleção do ciclo térmico	154
10.1.5. Distorções inevitáveis	160
10.2. Propriedades mecânicas e microestruturais	182
10.2.1. Baixa dureza em aço AISI D2 após têmpera, subzero e revenimento	183
10.2.2. Baixa dureza superficial em aço 16MnCr5 cementado e temperado	185
10.3. Defeitos em operações pós-tratamento térmico	187
10.3.1. Problemas de retífica	187
10.3.2. Problemas de polimento	188
11. Cuidados nas operações de tratamento térmico	191
11.1. Riscos durante o resfriamento em óleo	192
11.2. Riscos em instalações elétricas	193
11.3. Riscos de explosão	194
11.3.1. Riscos de o óleo de têmpera estar contaminado com água	196
11.3.2. Riscos de explosão em fornos de banho de sais	197
Referências	198
Sobre o autor	199