

# **TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS MATERIALES METÁLICOS**

**ACEROS Y OTRAS ALEACIONES  
SUSCEPTIBLES  
DE TRATAMIENTO TÉRMICO**

**VOLUMEN 2**

**Aceros de construcción mecánica  
y su tratamiento térmico.  
Aceros inoxidable**

**Por Manuel Antonio Martínez Baena  
y José María Palacios Repáraz**

# Índice general

---

<b>Presentación</b> .....	7
<b>Prólogo</b> .....	9
<b>PARTE 1. ACEROS FINOS DE CONSTRUCCIÓN</b> .....	17
<b>I. Aceros de construcción al carbono</b> .....	25
Introducción .....	25
Tratamientos térmicos de los aceros al carbono de construcción .....	27
Recocido .....	29
Recocido de regeneración. Recocido total .....	29
Recocido de ablandamiento .....	30
Recocido contra acritud. Recristalización .....	31
Recocido de eliminación de tensiones .....	34
Recocido globular .....	34
Normalizado .....	35
Temple y revenido. Bonificado .....	37
Distorsiones en el temple de los aceros al carbono .....	42
Temple superficial .....	43
Aceros al carbono calibrados por estirado .....	44
Alambres y flejes de aceros al carbono .....	46
<b>II. Aceros de construcción aleados</b> .....	49
Introducción .....	49
Templabilidad .....	52
Ensayo de templabilidad Jominy .....	55
Selección y aplicación de los aceros de media y alta resistencia .....	59

Tratamientos térmicos de los aceros aleados de construcción . . . . .	61
Recocido . . . . .	62
Bonificado . . . . .	63
<b>III. Aceros de cementación . . . . .</b>	<b>69</b>
Introducción . . . . .	69
Selección y aplicación de los aceros de cementación . . . . .	71
Templabilidad . . . . .	76
Tamaño de grano . . . . .	80
Propiedades mecánicas . . . . .	81
Deformaciones . . . . .	85
Tratamientos térmicos de los aceros de cementación . . . . .	87
Normalizado . . . . .	88
Recocido subcrítico . . . . .	89
Recocido de regeneración. Recocido total . . . . .	89
Recocido isotérmico. Recocido de maquinabilidad . . . . .	89
Cementación . . . . .	91
Temple . . . . .	92
Revenido . . . . .	94
Tratamiento subcero . . . . .	94
<b>IV. Aceros de nitruración . . . . .</b>	<b>97</b>
Introducción . . . . .	97
Aceros que se utilizan normalmente en nitruración . . . . .	99
Aceros Cr- Al-Mo . . . . .	102
Aceros Cr-Mo . . . . .	103
Aceros Cr-Mo-V . . . . .	103
Características principales de las piezas nitruradas . . . . .	103
Ventajas de la nitruración . . . . .	104
Alta dureza superficial . . . . .	105
Dureza a alta temperatura . . . . .	105
Resistencia a la corrosión . . . . .	106
Resistencia a la fatiga . . . . .	106
Deformaciones . . . . .	107
Resistencia al desgaste . . . . .	107

<b>V. Aceros para muelles</b> .....	109
Introducción .....	109
Aceros para muelles .....	110
Templabilidad .....	113
Estado superficial .....	114
Tratamientos térmicos de los aceros para muelles .....	114
Recocido de ablandamiento .....	115
Temple .....	115
Revenido .....	115
“Revenido” final de los muelles conformados en frío .....	116
<b>VI. Aceros de fácil maquinabilidad y aceros de maquinabilidad mejorada</b> ..	119
Introducción .....	119
Aceros de fácil maquinabilidad .....	119
Aceros de maquinabilidad mejorada .....	126
Aceros desoxidados con aluminio y tratados con calcio .....	131
Aceros tratados con calcio sin desoxidación previa .....	132
Conceptos actuales de maquinabilidad mejorada .....	134
Las inclusiones y la maquinabilidad. Aspectos generales .....	137
Otros factores metalúrgicos que influyen en la maquinabilidad de los aceros de construcción en general .....	138
Mecanismos de desgaste en las herramientas de mecanizado .....	147
Desgaste por adhesión .....	149
Desgaste por abrasión .....	150
Desgaste por difusión .....	150
Relación entre el mecanismo de desgaste y la velocidad de corte .....	151
<b>VII. Aceros microaleados</b> .....	153
Introducción .....	153
Ventajas que presentan los aceros microaleados .....	155
Mecanismos para la obtención y control de las características en los aceros microaleados .....	156
Elementos microaleantes .....	157
Obtención de las propiedades y características de los aceros microaleados ...	158
Maquinabilidad .....	163
Soldabilidad .....	164
Tratamientos térmicos superficiales .....	164

Homogeneidad de dureza .....	166
Propiedades mecánicas .....	168
<b>VIII. Aceros para deformación y extrusión en frío .....</b>	<b>173</b>
Introducción .....	173
Aceros para deformación y extrusión en frío .....	174
Características y propiedades fundamentales que deben reunir los aceros para deformación en frío .....	177
Composición de los aceros para deformación en frío .....	178
Tratamiento térmico .....	179
Aceros al boro .....	184
Mecanismos de temple de los aceros al boro .....	186
Evaluación del efecto templante del boro .....	188
Composición de los aceros al boro para deformación en frío .....	190
Aceros al boro para tornillería con 1% de cromo .....	193
Características y propiedades de los aceros al boro con 1% de cromo .....	195
<b>IX. Aceros para rodamientos .....</b>	<b>199</b>
Introducción .....	199
Mecánica de los rodamientos y sus exigencias metalúrgicas .....	200
Diferentes grupos de aceros para rodamientos .....	201
Aceros al cromo de débil aleación y temple total o temple másico .....	201
Aceros de cementación .....	202
Aceros de alta aleación para rodamientos de usos especiales .....	203
La elaboración de los aceros para rodamientos .....	204
Recocido de los aceros para rodamientos .....	206
Recocido de los aceros al cromo de temple másico .....	206
Recocido de los aceros de cementación .....	209
<b>PARTE 2. ACEROS INOXIDABLES .....</b>	<b>213</b>
<b>X. Aceros inoxidables .....</b>	<b>217</b>
Introducción .....	217
Clasificación de los aceros inoxidables .....	218
Soldadura de los aceros inoxidables .....	225
Precipitados y fases intermetálicas .....	230

Precipitación de compuestos de elementos intersticiales .....	230
Formación de las fases intermetálicas. Fase sigma ( $\sigma$ ) .....	232
Soldabilidad de los aceros inoxidables .....	233
Aceros inoxidables martensíticos .....	234
Tratamientos térmicos de los aceros inoxidables martensíticos .....	235
Recocido .....	237
Temple .....	238
Revenido .....	240
Soldadura de los aceros inoxidables martensíticos .....	243
Aceros inoxidables ferríticos .....	247
Tratamientos térmicos de los aceros inoxidables ferríticos .....	249
Soldadura de los aceros inoxidables ferríticos .....	251
Aceros inoxidables austeníticos .....	253
Tratamientos térmicos de los aceros inoxidables austeníticos .....	256
Soldadura de los aceros inoxidables austeníticos .....	258
Aceros inoxidables austeno-ferríticos. Aceros dúplex .....	261
Tratamientos térmicos de los aceros inoxidables austeno-ferríticos .....	263
Soldadura de los aceros inoxidables austeno-ferríticos .....	264
Aceros inoxidables endurecibles por precipitación. Aceros PH .....	266
Aceros PH martensíticos .....	269
Aceros PH semiausteníticos .....	269
Aceros PH austeníticos .....	270
<b>XI. Los aceros inoxidables frente a la corrosión .....</b>	<b>271</b>
Introducción .....	271
Pasividad de los aceros inoxidables .....	271
Influencia de los elementos de aleación sobre la resistencia a la corrosión ...	272
Formas de corrosión .....	273
Corrosión general y uniforme en un medio ácido .....	274
Corrosión localizada en un medio neutro clorurado .....	276
Corrosión por picaduras. Pitting corrosion .....	276
Corrosión cavernosa. Crevice corrosion .....	278
Corrosión bajo tensión. Stress corrosion .....	280
Las otras formas de corrosión .....	283
Corrosión intergranular. Intergranular corrosion .....	283
Corrosión galvánica. Galvanic corrosion .....	286
Corrosión en hoja de cuchillo. Knife-edge corrosion .....	288

<b>XII. Aceros maraging</b> .....	295
Introducción .....	295
Composición química de los aceros maraging .....	295
Tratamientos térmicos de los aceros maraging. Endurecimiento por precipitación .....	296
Tratamiento térmico de solubilización .....	299
Tratamiento térmico de envejecimiento o maduración .....	301
Acero maraging ICO-2800 con excepcionales niveles de resistencia mecánica y tenacidad .....	303
Tratamientos térmicos superficiales de los aceros maraging. Nitruración ....	305
Soldadura de los aceros maraging .....	306
Mecanizado de los aceros maraging .....	307
Comportamiento frente a la corrosión y a la oxidación de los aceros maraging .....	307
Consideraciones finales .....	308
<b>Bibliografía</b> .....	311

**E**ste libro es el resultado de una serie de charlas impartidas al personal técnico y mandos de taller de un numeroso grupo de empresas metalúrgicas, particularmente, del sector auxiliar del automóvil. Otras han sido impartidas, también, a alumnos de escuelas de ingeniería y de formación profesional.

**E**l propósito que nos ha guiado es el de contribuir a despertar un mayor interés por los temas que presentamos, permitiendo así la adquisición de unos conocimientos básicos y una visión de conjunto, clara y sencilla, necesarios para los que han de utilizar o han de tratar los aceros y aleaciones; no olvidándonos de aquéllos que sin participar en los procesos industriales están interesados, de una forma general, en el conocimiento de los materiales metálicos y de su tratamiento térmico.

**N**o pretendemos haber sido originales al recoger y redactar los temas propuestos. Hemos aprovechado información procedente de las obras más importantes ya existentes; y, fundamentalmente, aportamos nuestra experiencia personal adquirida y acumulada durante largos años en la docencia y de una dilatada vida de trabajo en la industria metalúrgica en sus distintos sectores: aeronáutica –*motores*–, automoción, máquinas herramienta, tratamientos térmicos y, en especial, en el de aceros finos de construcción mecánica y de ingeniería. Por tanto, la única justificación de este libro radica en los temas particulares que trata, su ordenación y la manera en que se exponen.

**E**ste segundo volumen describe, de una manera práctica, clara, concisa y amena el estado del arte en todo lo que concierne a los aceros finos de construcción mecánica y a los aceros inoxidable, su utilización y sus tratamientos térmicos. Tanto los que han de utilizar como los que han de tratar estos grupos de aceros, encontrarán en este segundo volumen los conocimientos básicos y necesarios para acertar en la elección del acero y el tratamiento térmico más adecuados a sus fines. También es recomendable para aquéllos que, sin participar en los procesos industriales, están interesados de un modo general, en el conocimiento de los aceros finos y su tratamiento térmico.

**E**l libro está dividido en dos partes. En la primera que consta de 9 capítulos se examinan los aceros de construcción al carbono y aleados, los aceros de cementación y nitruración, los aceros para muelles, los de fácil maquinabilidad y de maquinabilidad mejorada, los microaleados, los aceros para deformación y extrusión en frío y los aceros para rodamientos. Los tres capítulos de la segunda parte están dedicados a los aceros inoxidable, haciendo hincapié en su comportamiento frente a la corrosión, y a los aceros maraging.

*Volumen II:*

***“ACEROS DE CONSTRUCCIÓN MECÁNICA Y SU TRATAMIENTO TÉRMICO.  
ACEROS INOXIDABLES”.***