

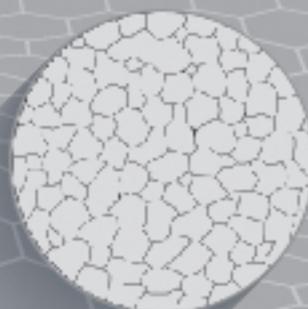
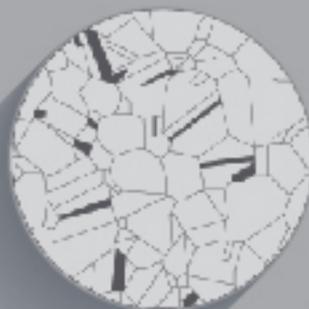
150
ANIVERSARIO



ESCUELA
POLITÉCNICA
NACIONAL

ALEACIONES HIERRO CARBONO

Propiedades y aplicaciones



Carlos Díaz Campoverde
Ingeniería Mecánica

ALEACIONES
HIERRO-CARBONO
Propiedades y Aplicaciones

Carlos Díaz Campoverde

EPN - 2019

Aleaciones Hierro - Carbono: Propiedades y Aplicaciones

Carlos Díaz

Este libro ha seguido el proceso editorial de la Escuela Politécnica Nacional en el que incluye la revisión por pares anónimos.

Comité editorial: Marco Calahorrano (Editor en jefe)

Jenny Ruales (coeditora)

Cecilia Paredes

Leonardo Basile

Víctor Hidalgo

Técnico Operativo: Sebastián Laverde

Diseño de portadas: Dirección de Relaciones Institucionales EPN

ISBN: 978-9978-383-52-0

Publicado bajo el Sello de EPN Editorial

Vicerrectorado de Docencia Escuela Politécnica Nacional

Ladrón de Guevara E11-253

Quito-Ecuador

Primera edición: 2019

Primera impresión: 2019

© Escuela Politécnica Nacional 2019



Prefacio

El presente libro está dedicado a estudiantes de ingeniería mecánica y a todos aquellos lectores que se interesen por conocer los inicios y el continuo desarrollo del acero. Así pues, representa un aporte a un curso semestral intensivo hacia el conocimiento de una de las aleaciones más utilizadas y estudiadas a nivel mundial. Su descubrimiento ha permitido un acelerado desarrollo tecnológico, especialmente en los campos relacionados al acero y fundiciones. Al ser el acero el precursor de la revolución industrial, es necesario que conozcan y entiendan las cualidades y propiedades de este metal, su evolución, y cómo ha aportado al desarrollo actual de la sociedad.

Desde una aguja hasta la más sofisticada de las estructuras ingenieriles realizadas por el hombre, la aleación de hierro y carbono es utilizada por ingenieros de diseño y metalúrgicos por su gran versatilidad para formar aleaciones, y su resistencia a la corrosión, al desgaste y a las altas temperaturas, lo convierten en un material de propiedades muy atractivas.

El libro está constituido por 10 capítulos. El capítulo 1 hace una breve revisión de las distintas formas en las que se puede encontrar el hierro en la naturaleza, como compuesto mineral, parte de meteoritos, o también en su forma actual, como chatarra. Se hará una breve relación del proceso de Bessemer, quien llevó la manufactura del acero a la industria. Se estudia el diagrama hierro-cementita y la manera en que ayuda a entender los diferentes cambios cristalinos del hierro tras aumentar la temperatura y variar el contenido de carbono. Este diagrama ayuda a predecir las propiedades mecánicas y las diferentes microestructuras que pueden llegar a formarse en un enfriamiento a temperatura constante y con un contenido

específico de carbono.

El capítulo 2 aborda de forma directa el acero, la manera en la que varía su estructura en función de la temperatura y el tiempo a través de los diagramas TTT y CCT, así como sus diferentes formas de clasificación: sea por su composición química, forma de obtención, contenido de carbono, entre otros. Se discute la influencia de los elementos aleantes que intervienen en la obtención del acero y cómo permiten obtener una gran variedad de aceros con mejores propiedades mecánicas, y amplia aplicación, industrial y estructural.

El capítulo 3 considera las fundiciones ferrosas. Se analiza cómo varían sus propiedades mecánicas de resistencia y tenacidad al alterar el contenido de carbono, las fases o microconstituyentes que se forman durante el enfriamiento del metal líquido y la manera en que la velocidad de enfriamiento y la interacción con elementos como el silicio o magnesio pueden afectar la forma que adopta el carbono dentro de la matriz metálica. Además, se explican fundiciones típicas: gris, nodular y maleable.

Los tratamientos térmicos más comunes a nivel industrial y que afectan a toda la masa de la aleación son utilizados para lograr cambios en la microestructura. De esta manera se modifican sus propiedades mecánicas, sea para incrementar la resistencia o reducir la dureza para continuar con su deformación. De los metales y aleaciones existentes, el hierro es el metal que reúne las condiciones necesarias u óptimas para lograr cambios significativos en sus propiedades mecánicas como tenacidad, dureza y resistencia. El capítulo 4 considera los tratamientos térmicos más comunes que se realizan en la industria: recocido, normalizado, temple, revenido y tratamiento en frío. Posteriormente en este texto se considerarán también tratamientos térmicos superficiales, para abarcar un mayor campo de aplicaciones y mejoras mecánicas.

Las propiedades mecánicas de aceros y fundiciones, como elasticidad, dureza, tenacidad y otras, son abordadas en el capítulo 5. En este capítulo, se explica su significado y cómo medir e interpretar a cada una.

El capítulo 6 establece varios métodos o procedimientos mediante los cuales se pueden variar la resistencia, dureza y tenacidad de un acero; técnicas como el trabajo en frío o la adición de aleantes o microaleantes pueden ser muy significativos para maximizar la resistencia mecánica.

El mantenimiento y manipulación de alimentos, así como los diferentes tipos y aplicaciones de acero inoxidable se consideran en el capítulo 7. Las diferentes composiciones químicas, elementos aleantes y métodos de fabricación muestran la gran versatilidad y propiedades mecánicas mejoradas de estos aceros.

Con el paso del tiempo, los aceros estructurales se han constituido en un pilar de desarrollo de nuestro país: edificaciones, puentes, torres y otras estructuras metálicas los utilizan. El capítulo 8 trata acerca de la gran diversidad de aceros disponibles, sus métodos de obtención, sus composiciones químicas y propiedades mecánicas, los grados y se señala aquellos que son tratados térmicamente.

Una de las industrias que mayores ventajas ha obtenido de los aceros es la automotriz. La diversidad de aceros desarrollados para cubrir las necesidades de este mercado son variadas; se ha buscado mantener una relación entre peso y consumo de combustible lo más baja posible, lo que implica una proporcional reducción de contaminación ambiental. El capítulo 9 recoge aquellos aceros que en las últimas cuatro décadas han revolucionado con sus propiedades mecánicas el mundo automotor. Sus composiciones, microestructura y aplicaciones también son abordadas.

El capítulo 10 desarrolla las diferentes maneras de conformado de aceros, desde las más comunes (laminado, trefilado, extruido), hasta aquellos como el estampado y conformado en caliente, procesos utilizados para dar forma a un tocho o plancha metálica. Sin embargo, existen otros procesos como el hidroformado que evolucionan continuamente y se consideran en este texto.

Para una correcta lectura, debe notarse que las abreviaturas utilizadas en este texto como FCC, BCC, BCT, IF y muchas otras, derivan de sus

siglas en inglés. Son pocos los casos en que se abrevia desde el español. Así mismo, La referencia de figuras cuya autoría no le corresponde al autor se indica en la página en que se ubica, no en la lista de figuras

La intención del autor al publicar este texto es ofrecer al estudiante una fuente adicional a la bibliografía existente.

Contenido

1. Hierro	2
1.1. Hierro en el Ecuador	4
1.2. Transformación inicial del hierro en acero	9
1.3. Diagrama de equilibrio hierro-cementita	14
1.3.1. Introducción	14
1.3.2. Diagrama hierro-cementita	17
1.3.3. Constituyentes de la aleación hierro-cementita	22
1.4. Preguntas de repaso	26
2. Aceros	31
2.1. Acero hipoeutectoide	33
2.2. Acero eutectoide	35
2.3. Acero hipereutectoide	37
2.4. Transformaciones isotérmicas-curvas TTT	39
2.5. Transformación por enfriamiento continuo (CCT)	53
2.6. Clasificación de los aceros	58
2.7. Por su forma de fabricación	60
2.7.1. Proceso Bessemer-Thomas	60
2.7.2. Proceso Siemens-Martin	61
2.7.3. Horno eléctrico	62
2.7.4. Horno convertidor de oxígeno	64
2.8. Por su composición química	65
2.8.1. Aceros de bajo contenido de carbono	67
2.8.2. Aceros de medio contenido de carbono	72
2.8.3. Aceros de alto contenido de carbono	73
2.8.4. Aceros aleados	73

2.9.	Por su aplicación	78
2.9.1.	Acero automotriz	79
2.9.2.	Acero estructural	80
2.9.3.	Acero para herramientas	81
2.9.4.	Acero para tuberías	85
2.10.	Preguntas de repaso	88
2.11.	Ejercicios	90
3.	Fundiciones de hierro	97
3.1.	Microconstituyentes	99
3.2.	Clasificación de las fundiciones	100
3.2.1.	Fundición gris	100
3.2.2.	Fundición dúctil, nodular o esferoidal	104
3.2.3.	Fundición blanca	107
3.2.4.	Fundición maleable	109
3.2.5.	Fundición maleable de corazón blanco (FMB)	113
3.2.6.	Fundición maleable de corazón negro (FMN)	113
3.3.	Preguntas de repaso	116
4.	Tratamientos térmicos	120
4.1.	Recocido	123
4.1.1.	Recocido completo	126
4.1.2.	Recocido de regeneración	126
4.1.3.	Recocido subcrítico	127
4.1.4.	Recocido isotérmico	127
4.1.5.	Recocido de deshidrogenación	128
4.1.6.	Recocido de esferoidización o globulizado	129
4.2.	Normalizado	130
4.3.	Temple	133
4.3.1.	Temple normal	133
4.4.	Revenido	135
4.5.	Tratamiento criogénico	137
4.5.1.	Tratamiento en frío vs. revenido	137
4.5.2.	Ventajas del tratamiento en frío	138
4.6.	Templabilidad	138
4.7.	Preguntas de repaso	140

5. Propiedades mecánicas	146
5.1. Elasticidad	147
5.2. Plasticidad	147
5.3. Dureza	148
5.3.1. Ensayo de dureza Brinell	149
5.3.2. Ensayo de dureza Vickers	151
5.3.3. Ensayo de dureza Rockwell (HRb, HRC)	152
5.4. Curva esfuerzo-deformación	154
5.5. Resistencia a la tensión	157
5.6. Esfuerzo de fluencia	160
5.7. Ductilidad	161
5.8. Resiliencia	163
5.9. Tenacidad	164
5.10. Resistencia a la compresión	164
5.11. Resistencia a fatiga	165
5.12. Preguntas de repaso	167
6. Mecanismos de endurecimiento	172
6.1. Solución sólida	173
6.1.1. Solución sólida sustitucional	173
6.1.2. Solución sólida intersticial	175
6.2. Reducción de tamaño de grano	176
6.3. Deformación en frío	177
6.4. Endurecimiento por precipitación	179
6.5. Preguntas de repaso	181
7. Aceros inoxidables	184
7.1. Métodos de fabricación	185
7.2. Tipos de aceros inoxidables	189
7.3. Propiedades físicas	196
7.4. Aplicaciones de los aceros inoxidables	196
7.4.1. Productos caseros, cubertería y productos de mesa	197
7.4.2. Manipulación de alimentos	199
7.4.3. Uso en equipos lácteos	200
7.4.4. Arquitectura	201
7.4.5. Aviación	203

7.4.6.	Automóviles	204
7.4.7.	Aceros inoxidables quirúrgicos	205
7.5.	Preguntas de repaso	207
8.	Aceros estructurales	212
8.1.	Métodos de fabricación	213
8.2.	Composición química	215
8.3.	Tipos aceros estructurales	219
8.3.1.	Acero estructural al carbono	221
8.3.2.	Aceros baja aleación-alta resistencia	223
8.3.3.	Aceros al carbono y HSLA tratados térmicamente	228
8.3.4.	Aceros aleados de construcción tratados térmicamente	230
8.3.5.	Acero para puentes	232
8.4.	Preguntas de repaso	233
9.	Aceros automotrices	237
9.1.	Aceros convencionales	242
9.1.1.	Aplicación	243
9.2.	Aceros alta resistencia: baja aleación HSLA	244
9.2.1.	Aplicación	246
9.3.	Aceros Avanzados de Alta Resistencia (AHSS)	246
9.3.1.	Aceros de transformación inducida por plasticidad (TRIP)	247
9.3.2.	Aplicación	251
9.3.3.	Aceros de transformación inducida por maclaje (TWIP)	251
9.3.4.	Aplicación	253
9.3.5.	Aceros de fase compleja (CP) con matriz bainítica	254
9.3.6.	Aplicación	256
9.3.7.	Aceros Martensíticos	256
9.3.8.	Aplicación	258
9.3.9.	Aceros de fase dual (DP)	258
9.3.10.	Aplicación	261
9.4.	Preguntas de repaso	262

10. Mecanizado de aceros sin arranque de viruta	268
10.1. Conformado	268
10.1.1. Laminado en caliente	269
10.1.2. Laminado en frío	270
10.2. Forja	271
10.2.1. Forja con dado abierto	272
10.2.2. Forja con dado cerrado	272
10.2.3. Forja sin rebaba	273
10.3. Trefilado	275
10.4. Extrusión	276
10.5. Estampado	277
10.5.1. Conformabilidad global de los aceros	280
10.5.2. Recuperación elástica (<i>Springback</i>)	283
10.6. Perfilado	284
10.7. Estampado, o conformado en caliente	285
10.8. Hidroformado	287
10.8.1. Hidroformado de tubo	289
10.8.2. Hidroformado doble hoja	291
10.9. Conformado superplástico	291
10.9.1. Flexforming	293
10.10. Preguntas de repaso	295

"El contenido del texto es presentado en una forma clara y con un orden lógico. El mismo abarca los temas principales relacionados con el objeto de estudio (Aleación hierro-Carbono) y agrupa en una sola obra aspectos de la aleación en sí misma, sus características y propiedades, mejoramiento de sus propiedades y procesos de conformación del material". M.Sc. Leonardo Goyos Pérez - Escuela de las Fuerzas Armadas ESPE

"El aporte valioso del libro son los temas referentes a los minerales de hierro existentes en el Ecuador y lo que se produce en el país" Patricio Riofrío Villena - Escuela de las Fuerzas Armadas ESPE.

ISBN: 978-9978-383-52-0



EPN
editorial

**INGENIERÍA
MECÁNICA**