

INFORMACIÓN

BIBLIOGRÁFICA

Libros

Los libros que se incluyen en esta Sección han sido remitidos a los Servicios de Información del CENIM por sus autores o por sus editores y pueden consultarse en nuestra Biblioteca por quienes lo deseen. Quienes estén interesados en su adquisición deben dirigirse a sus editores o a alguna librería técnica especializada.

Mathematical and Physical Simulation of the Properties of Hot Rolled Products

J.G. Lenard, M. Pietrzyk & L. Cser
© 1998 Elsevier Science Publishers
PO Box 211
1000 AE Amsterdam
(Holanda)
15,5 × 23 cm, 364 págs
Precio. 276 Dfl; 140 US\$

ISBN: 0-08-0427014

La publicación representa una importante revisión de los modelos matemáticos que permiten predecir las condiciones en que un material laminado, especialmente acero y aluminio, debería fabricarse para satisfacer las demandas de calidad que exigen los usuarios.

Previo al desarrollo de estos temas, el primer capítulo trata de la importancia que la industria siderúrgica tiene en el desarrollo tecnológico de varios países y su incidencia en el producto interior bruto. Si bien los conceptos básicos de la laminación no han cambiado, el uso de nuevas y sofisticadas máquinas de ensayo, el desarrollo de nuevos aceros que satisfacen las exigencias de los usuarios y la construcción de potentes modelos matemáticos, han contribuido a que la tecnología de la laminación haya cambiado radicalmente en los últimos años.

A lo largo de los siguientes capítulos se discuten los aspectos térmicos, mecánicos y microestructurales relacionados con la laminación de los aceros. Así, en el segundo capítulo se tratan los problemas de fricción, lubricación y transferencia de

calor entre los cilindros y el producto. Se dan diversas ecuaciones para el coeficiente de fricción en función de la velocidad lineal del producto, de la presión de la interfase y de la rugosidad. Del mismo modo, se muestran las ecuaciones que permiten calcular la transferencia de calor entre los cilindros y la chapa y predecir el desgaste de los primeros. También se expone la influencia cuantitativa del uso de lubricantes sobre el desgaste de los cilindros y el modo de reducirlo.

En el tercer capítulo, se discuten las diferentes expresiones que ayudan a predecir la resistencia a la deformación en caliente del acero. También se discuten los diferentes ensayos de laboratorio que son útiles y apropiados para determinar los parámetros implicados en la completa formulación de las ecuaciones, que relacionan tensiones y deformaciones a través de la predicción de las curvas de fluencia en función de la velocidad de deformación, de la temperatura, etc.

En el capítulo cuarto se describen las diferentes expresiones que el técnico puede usar para calcular la fuerza y el par de laminación (Orwan, Sims, Bland y Ford), previo conocimiento de la relación tensión-deformación.

El capítulo quinto trata de la aplicación del método de los elementos finitos para determinar la distribución de la deformación, velocidad de deformación y temperatura sobre el volumen de metal que está siendo presionado por los cilindros en cada paso. El conocimiento de dicha distribución permite predecir la

mayor o menor heterogeneidad estructural de la austenita y, en consecuencia, de la microestructura final después de la transformación de fase durante el enfriamiento posterior a la laminación. Se discuten las teorías del sólido rígido y elasto-plástica, respectivamente, así como las ventajas y desventajas de cada una. También en este capítulo se muestran las diferentes expresiones constitutivas que se usan en el método de los elementos finitos (Hoff, Sellars-Tegart, Prandtl-Reuss), como también las ecuaciones que describen la transferencia de calor en la superficie de contacto cilindro-chapa.

El capítulo sexto es probablemente el más importante y está dedicado a la evolución de la microestructura durante la laminación y a las propiedades mecánicas del producto final. Al mismo tiempo que se realiza una descripción completa de los diferentes tipos de recristalización que pueden darse durante la laminación en caliente, como son la recristalización dinámica, estática y metadinámica, también se hace una revisión de la mayoría de los modelos que han sido publicados. Asimismo, se muestran diferentes modelos de otros tantos autores que describen el tamaño de grano austenítico recristalizado, su crecimiento en función de la temperatura y del tiempo, y la relación entre el tamaño de grano austenítico y el tamaño ferrítico final. Se presentan multitud de resultados que comparan la predicción de la microestructura por los diferentes modelos y la obtenida en la laminación industrial. Asimismo, se realiza una revisión de las expresiones que

relacionan la microestructura final con el límite elástico y la resistencia (Hall-Petch, Gladman, Hodgson, etc.). Por último, en este capítulo también se describe el método de la "variable interna", que consiste en determinar la densidad de dislocaciones en función de la velocidad de deformación y de la temperatura y predecir, a partir de la misma, las curvas de fluencia del acero.

En el siguiente capítulo se describen los métodos para calcular o predecir los parámetros de laminación (fuerzas y pares de laminación, fuerzas de fricción, deformación longitudinal, localización de la zona neutral) en laminaciones de formas diversas, tales como perfiles, redondos, etc.

El capítulo octavo trata de la evaluación de los parámetros del material durante la laminación y en condiciones límites a través de un análisis inverso, con objeto de minimizar riesgos en la calidad del producto. Se describen los métodos que pueden ser empleados para este propósito, como los de Montecarlo y Powell, respectivamente.

Finalmente, en el capítulo noveno se describe la aplicación de las redes neurales a la laminación, con objeto de cubrir ciertas lagunas y aspectos desconocidos en los modelos físico-matemáticos disponibles, como podría ser la modelización de las curvas de fluencia y las fuerzas de laminación en la región crítica austenita-ferrita. En conclusión, se trata de un buen libro donde el investigador o el ingeniero puede encontrar una moderna y excelente descripción de los conceptos, modelos y métodos relacionados con la laminación en caliente del acero y del aluminio, especialmente en los aspectos más importantes del proceso: térmicos, mecánicos y microestructurales.

SFMM

Theoretical Principles of Liquid Penetrant Testing

P. Prokhorenko, N. Migoun, M. Stadthaus
Deutsche Gesellschaft für
Zerstörungsfreie Prüfung e.V.

Rev. Metal. Madrid 36 (2000)

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

© 1999 DVS Verlag GmbH
Postfach 101965
40010 Düsseldorf (Alemania)
16 × 24 cms, 252 págs
Precio: 132 DM

ISBN: 3-87155-943-1

El ensayo con líquidos penetrantes es una técnica muy sensible ampliamente utilizada por su fiabilidad para detectar discontinuidades superficiales. Dentro de los ensayos no destructivos este procedimiento es uno de los más antiguos y mejor conocidos. El método se basa en un procedimiento muy complejo cuyos fundamentos no han sido suficientemente estudiados; sin embargo, a partir de las investigaciones realizadas puede deducirse que el método se basa en complicados procesos físicos. Por tanto, para optimizar la tecnología del procedimiento y desarrollar productos de alta sensibilidad es necesario la descripción cuantitativa de la correlación física entre estos procedimientos.

Hace unos diez años se publicó en Bielorrusia la obra en ruso "Fundamentos teóricos del ensayo con líquidos penetrantes" de los autores P. Prokhorenko y N. Migoun, en la que se presentan las bases teóricas de la hidrodinámica de los penetrantes. Durante los últimos años se han obtenido considerables datos experimentales y nuevos resultados teóricos, que han completado y confirmado las ideas originales sobre la hidrodinámica de los penetrantes. Los resultados de las investigaciones obtenidos por el equipo del Profesor P. Prokhorenko, relativas a los principios físicos del ensayo con líquidos penetrantes, son ampliamente conocidos a través de sus presentaciones en conferencias europeas y mundiales sobre ensayos no destructivos.

Gracias al apoyo de la Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung E.V. y a la fructífera colaboración entre el Instituto de Física Aplicada de Bielorrusia de la Academia de Ciencias y el Instituto Federal de Investigación y Ensayos (BAM) de Alemania, puede presentarse este nuevo libro. La finalidad del mismo es presentar los fundamentos de los principios físicos y la descripción teórica de los procesos que constituyen la base del ensayo con líquidos penetrantes. La obra es la primera publicada en inglés en relación con este tema.

Los capítulos que trata la obra son:

Los capítulos que trata la obra son:

- Presentación de los principios básicos del ensayo con líquidos penetrantes.
- Penetración de líquidos en los defectos.
- Distribución de penetrantes a lo largo de la superficie.
- Hidrodinámica del proceso de revelado.
- Reconocimiento visual de indicadores.
- Panorámica de futuros desarrollos en el ensayo con penetrantes.

La obra es de gran ayuda, en primer lugar, para investigadores y especialistas que trabajan en el desarrollo de nuevas familias de productos de alta sensibilidad. También es de interés para especialistas relacionados con la optimización de procesos tecnológicos con líquidos penetrantes, así como para profesores y estudiantes universitarios relacionados, para el personal de centros de adiestramiento y certificación y para usuarios del ensayo con líquidos penetrantes del nivel-3.

JFB

Introduction to Stainless Steels.

ASM 588

Jonathan Beddoes, J. Gordon Parr

© 1999 ASM International

Distribuido para Europa en

exclusiva por:

American Technical Pub. Ltd

27-29 Knowl Piece

Wilbury Way, Hitchin, Herts.

SG4 OSX (Inglaterra)

16 × 24 cm, 220 págs

Precio 113 £; 84,75 £ (Miembros

ASM)

ISBN: 0-87170-673-3

La tercera edición del libro "Introducción a los Aceros Inoxidables", por su tamaño y fácil lectura constituye una herramienta de gran utilidad para iniciarse en el estudio de los aceros inoxidables no sólo desde el punto de vista de su resistencia a la corrosión sino de sus métodos de fabricación, clasificación, propiedades y aplicaciones.

El libro está dividido en once capítulos en los que se tratan los temas siguientes:

- Clasificación en función de sus propiedades y aplicaciones, datos de producción y consumo.
- Evolución y desarrollo de los mismos.
- Estructuras, propiedades mecánicas y tratamientos térmicos.
- Principios de corrosión y tipos de ataque.
- Propiedades mecánicas y métodos de medida.
- Técnicas de fabricación.
- Propiedades de los distintos tipos de aceros inoxidables.
- Fabricación, corte, maquinado, soldadura, endurecimiento, etc.
- Aceros inoxidables moldeados, propiedades y diferencias.
- Resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables.
- Aplicaciones y principales usos comerciales.

El libro contiene treinta y cuatro tablas que muestran estadísticas sobre producción y consumo hasta 1996, composiciones químicas de los distintos aceros inoxidables, propiedades mecánicas, datos de resistencia a la corrosión en distintos medios, propiedades de embutición y mecanizado.

El texto está acompañado de micrografías, gráficos y esquemas que facilitan el estudio de los distintos aspectos tratados en el libro y ayudan a familiarizarse con la gran complejidad de los problemas tecnológicos que se resuelven con la ayuda de los aceros inoxidables.

Este libro incluye, además, tres apéndices en los que se describe la manera de identificar los aceros inoxidables en servicio, la posible toxicidad

de los mismos y una tabla de equivalencias entre las designaciones de aceros inoxidables más frecuentemente utilizadas en el mundo.

BFG

Carburizing

Geoffrey Parrish

© 1999 ASM International

Distribuido para Europa en exclusiva por:

American Technical Pub. Ltd

27-29 Knowl Piece

Wilbury Way, Hitchin Herts.

SG4 OSX (Inglaterra)

18 × 26 cm, 250 págs

Precio 119 £; 89,25 £

(Miembros ASM)

ISBN: 0-87170-666-0

La cementación es una técnica industrial que trata de endurecer la superficie de la pieza de acero con la finalidad de aumentar su resistencia al desgaste manteniendo el núcleo tenaz. De la estructura y espesor de la capa endurecida dependerán las propiedades finales de la pieza.

Este libro trata de ser un vehículo de información de gran valor para estudiantes de ingeniería y metalurgia física, ya que cubre aspectos muy importantes del proceso industrial, del diseño de componentes cementados y es de gran utilidad en el campo del control de calidad.

A lo largo de las 300 páginas de este libro se describen las causas, efectos y consecuencias que se producen con los cambios microestructurales obtenidos en más piezas cementadas.

Se hace mención especial a los tratamientos realizados con posterioridad a la cementación como el chorreado con perdigones.

Contiene más de 250 figuras con distintos aspectos sobre materiales y propiedades obtenidas en cementación.

El libro, dividido en ocho capítulos, trata los temas siguientes:

- Oxidación interna.
- Descarburación.

- Carburos.
- Austenita retenida.
- Tamaño de grano, segregaciones y microgrietas.
- Propiedades del núcleo y de la capa.
- Tratamientos térmicos posteriores a la cementación.
- Tratamientos mecánicos posteriores a la cementación.

A lo largo de estos capítulos se estudia el efecto de la composición química del acero sobre las condiciones del tratamiento de cementación.

Se relacionan la microestructura obtenida en la capa y núcleo sobre las deformaciones obtenidas en el tratamiento y el posterior comportamiento de las piezas a la fatiga y al desgaste.

Finalmente, proporciona datos valiosos sobre la selección de aceros necesarios para la cementación, procedimientos de ajuste y control del proceso y los métodos de control de la capa cementada.

BFG

Handbook of Chemical Vapor Deposition. 2ª ed.

Hugh O. Pierson

© 1999 Noyes Publications

Distribuido para Europa en exclusiva por:

American Technical Pub. Ltd.

27-29 Knowl Piece

Wilbury Way, Hitchin Herts.

SG4 OSX (Inglaterra)

16,5 × 24,5 cm, 482 págs.

Precio 90 £

ISBN: 0-8155-1432-8

La obra expone una panorámica del proceso de síntesis denominado CVD que, como es sabido, consiste en la depositación de un sólido sobre una superficie caliente como consecuencia de una reacción química en fase vapor. Para exponer esta amplia fenomenología, el autor estructura su texto en tres bloques principales y un apéndice.

El primer bloque trata sobre la termodinámica y cinética química

de las reacciones, así como de los procesos y equipos industriales referentes a la tecnología CVD. Las reacciones químicas que tienen lugar son la pirólisis, reducción, hidrólisis, oxidación, carburización y nitruración, acompañadas de diferentes métodos de aplicar la energía para la activación de la reacción CVD: térmicos, foto-láser y plasma.

Se muestra cómo la termodinámica indica si una reacción CVD va a tener lugar por producirse una disminución de la energía libre. Por otra parte, la cinética de las reacciones CVD revela cuál será la velocidad de la reacción y cuánto tiempo se tardará en alcanzar el equilibrio térmico. La selección del precursor apropiado es de gran importancia para la reacción CVD, siendo varios los requisitos generales exigidos que debe cumplir: estabilidad a temperatura ambiente, suficiente volatilidad, alto grado de pureza y selectividad para evitar reacciones secundarias. Los compuestos organo-metálicos son buenos precursores para la depositación, tanto de metales como de carburos, nitruros y óxidos.

En el segundo bloque se describen los numerosos materiales que pueden producirse con la tecnología CVD, como son metales, estados alotrópicos del carbono, elementos no metálicos y materiales cerámicos. Para cada material depositado por CVD, se muestra un listado con sus propiedades físicas, reacciones principales y aplicaciones, tanto actuales como previsiblemente futuras.

Los metales que han sido considerados, ordenados por orden alfabético, son: aluminio, berilio, cromo, cobre, oro, molibdeno, níquel, niobio, platino, iridio, rodio, rutenio, renio, tantalio, titanio, volfranio, cadmio, hierro y estaño. Los compuestos intermetálicos (formados por dos metales) son Ti-Al, Fe-Ni, Ni-Cr, W-Th, y Nb-Ge. Las reacciones CVD son de pirólisis de los haluros, carbonilos o alquilos de los distintos metales, a temperaturas de 200 a 1.300 °C.

Las formas alotrópicas (o polimorfos) del carbono que se han estudiado son dos: el grafito y el diamante.

Los elementos no metálicos que han sido tratados son el boro y los materiales semiconductores silicio y germanio. Los materiales cerámicos obtenidos por el proceso CVD se dividen en varios bloques: carburos, nitruros, óxidos, boruros, siliciuros, sulfuros, seleniuros y telurios.

En tercer y último bloque se muestran las numerosas aplicaciones de las finas capas, con espesores generalmente inferiores a 10 µm, obtenidas mediante el proceso CVD, que modifican o mejoran las propiedades superficiales de los sustratos. Existen numerosas aplicaciones en materiales electrónicos (semiconductores, conductores y aislantes), optoelectrónicos, ferroeléctricos, ópticos y para mejorar la resistencia a la erosión y corrosión de herramientas punzantes y cortantes. Otras aplicaciones del proceso CVD se refieren a la producción de fibras, polvos cerámicos y componentes monolíticos.

Los principales materiales semiconductores estudiados en este apartado son el silicio, germanio, compuestos de galio, carburo de silicio y diamante. En cuanto a conductores eléctricos, se obtiene por la tecnología CVD aluminio, wolframio, molibdeno, cobre y siliciuros. Los aislantes eléctricos (dieléctricos) considerados son dos, el óxido y nitruro de silicio.

Las propiedades de los materiales optoelectrónicos son una combinación de propiedades de semiconductores y ópticas, siendo de importancia para elementos fotovoltaicos. Los materiales ferroeléctricos tienen la propiedad de poderse polarizar en presencia de un campo eléctrico. Sus aplicaciones principales son sensores y actuadores. Son compuestos ferroeléctricos los titanatos de plomo, estroncio y bismuto.

Los recubrimientos de CVD se emplean en gran escala para mejorar las resistencias a la erosión y corrosión de materiales, en un amplio rango de temperaturas. Los recubrimientos, junto con los sustratos, pueden considerarse como composites, cuyas propiedades mecánicas y químicas son únicas. Se aplican principalmente para recubrir herramientas pun-

zantes o cortantes, mediante una capa de nitruros, carburos o boruros, que las protege de su desgaste.

En la actualidad se producen por CVD dos fibras de refuerzo a escala comercial: fibras de boro y fibras de carburo de silicio. Por otra parte, la preparación de polvos CVD para reforzar cerámicas y metales es un campo prometedor que se encuentra en auge.

Las posibles estructuras monolíticas formadas por reacciones CVD son tres: 1) grafito pirolítico utilizado en aplicaciones que requieren alta resistencia mecánica y química (corrosión) a altas temperaturas en medios no oxidantes; 2) composites carbono-carbono que consiste en un sustrato de fibra de carbono y una matriz carbonosa, utilizado especialmente en la industria aeroespacial; 3) nitruro de boro pirolítico que es mucho más resistente a la oxidación que el grafito, siendo un material ideal para álabes de turborreactores.

Finalmente, en el apéndice se muestra otro proceso alternativo de depositación de vapor, aunque utilizando el proceso físico de la condensación (proceso PVD). Su diferencia esencial con el proceso CVD es que aquel es generalmente exotérmico, mientras que éste es endotérmico. Los tres principales subprocesos PVD son la evaporación, bombardeo en condiciones de alto vacío con iones gaseosos acelerados por un alto voltaje y bombardeo con iones, átomos o moléculas.

AMC

Introduction to Composites. 4ª ed.

Composites Institute

© 1998 Technomic

Distribuido para Europa en exclusiva por:

American Technical Pub. Ltd.

27-29 Knowl Piece

Wilbury Way, Hitchin Herts.

SG4 OSX (Inglaterra)

15,5 × 22,5 cm, 105 págs

Precio 39 £

ISBN: 1-56676-659-1

La obra expone una amplia panorámica sobre los composites que, como es sabido, son materiales que resultan de la combinación de dos o más elementos (matrices, reforzantes, rellenos y aditivos) y donde cada uno de los constituyentes, conservando su identidad, presenta una interfase con los demás constituyentes. Para exponer esta amplia temática, el autor estructura su texto en cuatro capítulos y un glosario.

En el capítulo primero se trata sobre el mercado de los composites y sus numerosas aplicaciones como resultado de sus excelentes propiedades (alta resistencia mecánica y baja densidad, gran flexibilidad y estabilidad térmica, carácter aislante o conductor de la electricidad y alta resistencia a la corrosión). Según la Sociedad de la Industria del Plástico (SPI), se comercializaron en Estados Unidos más de 1,5⁶ t de composites durante 1997. Sus principales usos, por orden decreciente, fueron: transportes, construcción, resistencia a la corrosión, industria naval, aplicaciones eléctricas y electrónicas, artículos de consumo doméstico e industria aeronáutica.

El capítulo segundo trata sobre la matriz, reforzantes, rellenos y aditivos que constituyen el composite. La matriz representa un medio homogéneo, constituido bien por resinas plásticas, o bien por metales, cerámica o vidrio. Dentro de las resinas plásticas, se utilizan dos tipos, las termoestables y las termoplásticas. Las resinas termoestables, denominadas así porque no pueden remodelarse por ablandamiento más que durante su formación, se caracterizan por ser duras y a veces quebradizas. Son resinas termoestables para materiales compuestos: poliésteres insaturados, resinas epoxy, ésteres vinílicos, poliuretanos y resinas fenólicas. Por otro lado, las resinas termoplásticas tienen una gran resistencia al impacto y pueden ser recicladas cuantas veces se quiera, al ablandarse con la temperatura. Son resinas termoplásticas: el nailon, los sulfuros polifenólicos, polímeros de cristal líquido, el polipropileno, polietileno, polieteramida y los fluoropolímeros.

Los reforzantes consisten en fibras u otro material, con suficiente relación de forma (relación longitud/diámetro) para proporcionar un considerable refuerzo en una dirección. Los principales materiales utilizados como refuerzos de la matriz polimérica son las fibras de vidrio, utilizándose en menor medida las fibras avanzadas de aramida, carbono/grafito, boro y nailon, así como los *whiskers* cerámicos. Otro tipo de refuerzo que se utiliza para conseguir composites de altas resistencias mecánicas y químicas son algunos metales y sus óxidos correspondientes.

Los rellenos son sustancias inertes, de bajo coste, que se añaden a los composites para alterar sus propiedades físicas, mecánicas, térmicas y eléctricas, además de disminuir su densidad. Pueden suponer más de la mitad del peso del composite. Los principales rellenos utilizados son el carbonato cálcico, el caolín, la alúmina trihidratada y el sulfato cálcico.

Los aditivos se utilizan en pequeñas cantidades y desempeñan papeles muy importantes, entre otras muchas funciones, se utilizan para catalizar, promover o inhibir reacciones, como colorantes y para el control de la viscosidad, electricidad estática y plasticidad, durante la elaboración del composite.

El capítulo tercero describe y compara una veintena de procesos distintos utilizados para la elaboración de composites. De cada proceso se hace una descripción general del equipo, se indica el tipo de resinas, aditivos y rellenos utilizados y se enumeran sus ventajas, limitaciones y aplicaciones. Al final del capítulo se muestra una tabla donde se indica la compatibilidad de los diferentes procesos con los distintos tipos de resinas termoestables y termoplásticas utilizadas. Dicha información es de gran utilidad para realizar una elección preliminar de los distintos métodos compatibles para la fabricación de cualquier tipo de composite.

El capítulo cuarto trata de aspectos económicos y sobre el futuro de la industria de los composites. Los

nuevos composites están enfocados a aplicaciones estructurales, en sustitución de otros materiales tradicionales como la madera, el acero y el hormigón. Las principales ventajas de los composites son su ligero peso y alta resistencia mecánica. Se espera que las aplicaciones estructurales de los composites sigan creciendo, especialmente cuando los datos sobre su durabilidad en el tiempo empiecen a estar disponibles.

Al final de la obra se muestra un glosario de los términos más usados en la industria de los composites. Los términos aparecen ordenados por orden alfabético, por lo que resulta de gran ayuda para las personas que se inician en el mundo de los composites.

AMC

Thermodynamics of Hydrocarbon Reservoirs

Abbas Firoozabadi
© 1999 McGraw-Hill Publishing Co.
Shoppenhangers Road,
Maidenhead, Berkshire
SL6 2QL (Inglaterra)
16 × 24 cm, 355 págs
Precio: 63,99 £

ISBN 0-07-022071-9

La obra expone una amplia visión de la termodinámica del equilibrio entre fases, aplicada a los hidrocarburos obtenidos a partir de los yacimientos petrolíferos. Trata también, aunque en menor medida, el tema de las situaciones irreversibles aplicadas a este mismo campo. El autor ha estructurado su texto en cinco capítulos, que recogen todos los aspectos esenciales sobre mezclas de hidrocarburos.

En el capítulo primero, el autor hace una amplia revisión de los conceptos y ecuaciones básicas de la termodinámica de las fases de equilibrio de mezclas de hidrocarburos. A partir de una combinación de las leyes de la termodinámica (primera, segunda y tercera) y con una ecuación de estado, pueden obtenerse buenos resultados acerca de las

propiedades de los distintos componentes de una mezcla.

Un concepto de la termodinámica ampliamente utilizado ha sido el potencial químico, el cual representa el cambio de energía libre de cada componente en diferentes soluciones tanto ideales como no ideales. Para el caso de las soluciones no ideales se emplea el coeficiente de actividad, el cual cuantifica la desviación a la idealidad.

El capítulo segundo trata principalmente de los efectos que tienen la gravedad y la curvatura de la interfase sobre los criterios de equilibrio. Dichos efectos son de suma importancia en la mezcla de los hidrocarburos encontrados en los yacimientos petrolíferos, debido a la naturaleza multicomponente de la mezcla y a su comportamiento no ideal. La gravedad afecta sobre la presión y composición de la mezcla de fluidos a diferentes alturas del yacimiento, mientras que la interfase curvada afecta a la presión de saturación de la mezcla.

Otro aspecto tratado en este capítulo es el estudio de los fenómenos irreversibles, los cuales tienen lugar bajo condiciones no isotermas, donde no puede alcanzarse el equilibrio. Esto ocurre a menudo en los yacimientos de hidrocarburos donde se da un pequeño gradiente térmico horizontal y/o vertical.

El tercer capítulo presenta diferentes EOS (*equation-of-state*) que son de gran utilidad para representar los comportamientos de las fases en las mezclas gas-líquido de los fluidos encontrados en los yacimientos subterráneos. Estos fluidos contienen, generalmente, además de hidrocarburos (de hasta 100 átomos de carbono), sustancias tales como nitrógeno, anhídrido carbónico, ácido sulfhídrico, azufre, agua, helio, e incluso trazas de mercurio.

La EOS más utilizada es la de van der Waals modificada por Peng & Robinson (EOS-PR). Dicha ecuación, con sólo dos constantes, es capaz de predecir la densidad y composición en el equilibrio de una mezcla de cientos de componentes, siempre y cuando se trate de sustancias no polares. Cuando existen sustancias polares, tal como el agua, mezcladas con los hidrocarburos, es necesario introducir una constante de asociación a la ecuación de estado.

El capítulo cuarto trata sobre métodos simples para el cálculo del equilibrio entre fases, y para el análisis de estabilidad y criticidad, cuando la mezcla multicomponente de hidrocarburos experimenta una expansión brusca (*flash*) como consecuencia de una variación de la presión. Para obtener la composición y el número de fases se utiliza un algoritmo basado en la minimización de la energía libre de Gibbs. El límite de estabilidad, a una temperatura dada, se refiere a la máxima supersaturación que puede ocurrir tanto en componentes puros como en mezclas multicomponentes, cuando se reduce bruscamente la presión. Según el criterio de criticidad, existe un único punto de inflexión en las curvas de equilibrio líquido-vapor de un componente puro o de una mezcla, que corresponde a su punto crítico.

En el quinto y último capítulo se estudia la termodinámica de la precipitación de ceras y asfaltenos. El proceso de precipitación de ambos compuestos en los crudos petrolíferos es muy diferente, como se muestra a continuación. Así cuando se aumenta la presión mejora la precipitación de ceras y se puede inhibir la de asfaltenos, mientras que cuando disminuye la temperatura precipitan las ceras en forma de cris-

tales y afecta muy poco a la precipitación de asfaltenos. Un aumento de la concentración de hidrocarburos ligeros produce una menor cantidad de precipitado de ceras y mejora sustancialmente la precipitación de asfaltenos. También, al añadir sustancias polares se favorece la precipitación de asfaltenos y no afecta a la precipitación de ceras. Y por último, a partir de una cierta concentración de gas carbónico disuelto comienza la precipitación de asfaltenos.

Las ceras consisten en hidrocarburos de más de 15 átomos de carbono y son generalmente parafinas y, en ocasiones, naftenos, no encontrándose compuestos aromáticos. Los asfaltenos son sustancias aromáticas polares de peso molecular elevado ((1.000) que, junto con las resinas, forman parte de la fracción más pesada del crudo del petróleo. Los asfaltenos se caracterizan por ser insolubles en exceso de n-pentano, pero solubles en exceso de benceno y tolueno a temperatura ambiente.

Dado su carácter polar, las moléculas de asfaltenos se pueden asociar entre sí y con moléculas de resinas, formando miscelas. Estas consisten en un núcleo de asfalteno, rodeado de resinas y aceite libre de asfalto. Para el estudio de la precipitación de asfaltenos se propone un modelo termodinámico de miscelización, donde todos los cálculos del equilibrio entre las fases sólida y líquida se basa en la disminución de la energía libre total del sistema. La cinética y los fenómenos de transporte, asociados a la depositación de ceras y asfaltenos, no han llegado aún a desarrollarse completamente, por lo que no han sido tratados en este capítulo.

AMC