

Informe de la obra titulada Metalografía aplicada a los productos siderúrgicos. Curso complementario dado en la Universidad de Oviedo el año 1921 por Emilio Jimeno Gil, catedrático de Química inorgánica de dicha Universidad

Ponente:

Don José Marvá

Como preliminar del informe sobre el libro del docto catedrático de la Universidad de Oviedo, es pertinente consignar que la materia en aquél contenida tiene un antecedente de interés en la Memoria científica número 397 del Bureau of Standards de Washington, en la que el señor Jimeno estudia, en colaboración con Rawdon, del mencionado Instituto, la relación que existe entre el número de dureza Brinell y el tamaño del grano de los aceros al carbono, recocidos. Y puede decirse que este opúsculo constituye un antecedente de la obra que aquí examinamos, porque tal tema no puede estudiarse sino con los procedimientos de la Metalografía.

Los aceros objeto de ese estudio tenían proporciones de carbono entre 0,07 y 1,12 por 100; es decir, desde el extra-dulce hasta el hipereutectoide, muy duro. Estos aceros fueron sometidos a distintos tratamientos mecánicos y térmicos, a fin de obtener tamaños muy variados de grano, determinando después su dureza por el método de Brinell.

Contra lo que podría esperarse, el tamaño del grano no ejerce influencia decisiva sobre la dureza del material, y, por el contrario, los autores formulan, entre otras conclusiones, las dos siguientes, que no carecen de importancia.

El tamaño del grano es un factor de importancia secundaria comparado con los demás que intervienen en el problema.

No existe una relación sencilla entre el tamaño del grano y la dureza Brinell, como existe en los metales y aleaciones de estructura más sencilla.

El número de muestras ensayadas fué muy considerable, y las micrografías que ilustran el trabajo son excelentes.

Pasemos ahora al comentario de la obra que motiva este informe.

Apunta el autor en su introducción que sus compañeros de la Facultad de Ciencias de Oviedo le encargaron la redacción del Curso complementario de Metalografía cuando se encontraba aún en Norteamérica, y que se apresuró a aceptar con el deseo de que la Facultad interviniera en la actividad industrial de Asturias. Con razón dice en su prólogo el doctor Cabrera que la Facultad de Ciencias de Oviedo merece plácemes por su iniciativa y por haber editado el libro.

Es corriente atribuir el origen de los estudios metalográficos a una extensión de la Petrografía, que ya a mediados del siglo anterior venía empleando el microscopio en el análisis de los constituyentes de las rocas. La opinión autorizada de Roberts-Austen y Neville contradice, sin embargo, esa hipótesis, y estima que la metalografía procede directamente del estudio de los meteoritos. En efecto, si recordamos los trabajos ejecutados con esos minerales hace más de un siglo, la técnica en ellos aplicada y los resultados obtenidos, se puede presumir que en ellos se encuentra el germen que, desarrollado mucho más tarde, constituye la actual ciencia metalográfica. La composición y estructura de los hierros meteoríticos se determinaba mediante el examen de los diseños que aparecían en una superficie pulimentada al atacarlos con un ácido. Tales diseños fueron observados por Widmanstätten en 1808, y han dado nombre a la «estructura de Widmanstätten» que, mediante un tratamiento apropiado, se presenta en los aceros moldeados, bien conocida de los metalgrafistas, y que no discrepa esencialmente de la observada en los meteoritos. Entre la mencionada fecha y la de 1864, en que Sorby presentó a la Asociación Británica su trabajo «Fotografías microscópicas de varios hierros y aceros», no apareció ningún estudio sobre esta materia, y por eso suele llamarse a Sorby el padre de la Metalografía. A éste siguieron Martens, con su *Investigación Microscópica de los metales*, y Osmond, con su obra *Sobre la metalografía microscópica*. En las postrimerías del siglo xix y comienzos del xx la bibliografía sobre estas cuestiones es copiosísima, y los nombres de los tratadistas más significados en Inglaterra, Estados Unidos, Francia, Alemania e Italia están en la memoria de todos. Las amplias notas bibliográficas que, a modo de apéndice, cierran cada capítulo de la obra del profesor Jimeno contienen todo lo más interesante que sobre la materia se ha escrito, y revelan en el autor un conocimiento cabal de las fuentes. En España, y aparte de la obra de Torrado y Serrano, citado por el autor, han aparecido de tiempo en tiempo estudios debidos a

Herrero, Casaus y algunos más. En los Congresos de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias y en el primero de Ingeniería, celebrado en Madrid, el Instituto de Metalografía de la Escuela de Minas, varios establecimientos de Artillería y el Laboratorio del Material de Ingenieros presentaron microfotografías de hierros, aceros y aleaciones que no desmerecían de las obtenidas en los países donde esta rama de la Ciencia ha realizado mayores progresos.

Trata seguidamente el autor, en un capítulo denominado «Generalidades», de las propiedades físicas y mecánicas de los metales y de su estructura. Al estudiar la fatiga, dice: «Después de la rotura se observa que el grano del acero se ha hecho muy grande, y se dice que el material ha cristalizado.» Opinamos que esta concepción del fenómeno de la fatiga, que es, por decirlo así, la tradicional, no ha recibido sanción de la experiencia. En rigor, la doctrina tradicional no era ésta, sino que el material de fibroso se cambiaba en cristalino; pero no creemos que una ni otra puedan ser aceptadas hoy.

Al examinar la estructura define el autor como «alotiomórfica» la forma irregular que adoptan los cristales bajo la presión recíproca originada por la existencia de distintos centros de cristalización. Declaramos que no nos satisface la calificación de alotiomórfico ni tampoco la de «alotriomórfico» adoptada por Sauveur y otros. La palabra y el concepto han sido tomados de la Petrología, en la cual venía designándose como «alotriomórficos» a los cristales de las rocas ígneas holocristalinas, cuya forma estaba impuesta por los cristales preexistentes inmediatos. Esta palabra tiene perfecta justificación etimológica (*allotrio*, extraño; *morphe*, forma), como la tienen también las expresiones xenomórfico y anhédrico. Esta última es, quizá, la más adecuada de todas ellas.

Las «líneas de Neumann», mencionadas por el autor en el mismo capítulo, son, como las de Widmanstätten, antes indicadas, una aportación del estudio de los meteoritos y fueron encontradas por Neumann en 1848; se presentan generalmente en los meteoritos marcando los planos de cruce, y en los metales, en las condiciones que define el autor, quien indica con precisión sus diferencias respecto a las bandas de resbalamiento.

Trata después de la técnica metalográfica, comprendiendo el pulimento, el ataque y el examen de las muestras. La exposición es, aunque muy condensada, perfectamente clara.

Entra seguidamente en el estudio de la constitución de los sistemas metálicos. Trata de la alotropía, que tan interesante papel representa en el estudio de los aceros, y aborda la exposición de la regla de las fases de Gibbs. Recordemos que la regla de las fases fué formulada por

Willard Gibbs en 1878, cuando era profesor en la Universidad de Yale.

Se ha hecho indispensable el estudio de dicha regla desde que, basándose en ella, trazó Roozeboom su famoso diagrama de equilibrio térmico del sistema hierro-carbono; pero no podemos sustraernos a la idea de que se han exagerado las posibilidades de la regla de las fases al trazar muchos diagramas de aceros y aleaciones. El mencionado de Roozeboom es, sin embargo, de los más justificados, y su conocimiento es indispensable para todo el que desee iniciarse en el estudio metalográfico de los aceros. La exposición de la regla de las fases por el autor y la que poco después hace de la solidificación de las aleaciones binarias es algo oscura por excesivamente condensada; la concisión del texto puede ser suplida por la explicación del profesor—no olvidamos que se trata de una obra didáctica—; pero sin esa explicación complementaria la inteligencia del texto no es fácil. Se observará, también, que la curva de enfriamiento, con arreglo a la ley de Newton, no es parabólica, sino logarítmica.

Pocas observaciones hemos de hacer al capítulo siguiente, relativo al diagrama de equilibrio del sistema hierro-carbono. El autor estudia metódica y satisfactoriamente el diagrama publicado por la Asociación Internacional para el Ensayo de Materiales, después del Congreso de 1912; es, en rigor, el diagrama de Roozeboom con muy ligeras variantes.

Pasa después a la determinación de los puntos críticos de los aceros por el trazado de curvas de temperaturas y tiempos, por el método de las velocidades inversas, debido a Osmond, y por el diferencial, ideado por Roberts-Austen, quizá el más empleado hoy; hubiera convenido trazar un esquema de este último procedimiento, cuyo estudio sería interesante para el alumno. Aunque, como indica el autor, los cuerpos neutrales empleados en el método diferencial pueden ser de platino, lo corriente es emplear los de porcelana.

El capítulo siguiente ofrece sumo interés por estar dedicado al estudio de los constituyentes metalográficos: ferrita, cementita, perlita, grafito, austenita, martensita, troostita, sorbita. Los caracteres de estos constituyentes están perfectamente definidos; las micrografías que acompañan al texto son, en general, excelentes y facilitan extraordinariamente la comprensión del texto. Discutible parece, sin embargo, la afirmación de que la máxima dureza de la martensita corresponde a la proporción 0,9 por 100 de carbono. De aquí se deduciría que los aceros eutectoides al carbono recibirían temple más enérgico que los hiper-eutectoides, lo que está en contradicción con algunos resultados de la experimentación.

No menor interés ofrece el capítulo siguiente, que contiene el estudio

de la microestructura de hierros y aceros y la clasificación de los aceros con arreglo al carbono combinado que contienen.

El autor define el acero por la ausencia completa o casi completa de escorias. No existe hoy conformidad de la definición de los aceros, y siempre que esta cuestión fué promovida en la Asociación Internacional para el Ensayo de Materiales, los diferentes países se mostraron irreducibles en la defensa de sus respectivos puntos de vista. Tiende a prevalecer la sustentada por el autor, que tal vez convendría complementar en esta forma: producto exento de escorias y obtenido por fusión, con 0,1 a 1,6 por 100 de carbono combinado.

A continuación enseña cómo partiendo de las cantidades de ferrita, perlita y cementita libre, puede estimarse muy aproximadamente la proporción de carbono en los aceros.

En efecto: aunque de ordinario se considera este procedimiento como subordinado a los que brinda el análisis químico, es lo cierto que por medición o pesada de las áreas de ferrita y perlita de un acero hipo-eutectoide o eutectoide se calcula muy fácilmente la proporción de carbono con aproximación no inferior a la que permiten, no sólo los mencionados procedimientos, sino también los de combustión de Mahler y Goutal, el de Wiborgh y, en general, cuantos conoce la Técnica. Pero no sólo puede deducirse del examen de una microfotografía la proporción de carbono, sino su carga de rotura por tracción. Basta para ello con saber que la resistencia a la rotura por extensión de la ferrita es de 26 kg./mm.² aproximadamente, y la que presenta la perlita de unos 90 kg./mm.²; partiendo de estos datos, las resistencias de las áreas de ferrita y perlita sumadas darán la resistencia del conjunto.

El capítulo VIII trata del acero fundido y de las impurezas en los aceros.

El autor emplea la palabra *fundición* en este capítulo en dos acepciones, lo que puede dar lugar a confusiones fácilmente evitables. La emplea como sinónimo de acero fundido, y es sabido que en la siderurgia española se acepta tradicionalmente como equivalente de arrabio, hierro colado, fundición de primera fusión. También la usa como sinónima de fusión, lo que puede producir error; en todo caso, resulta una anfibología de muy fácil remedio. No parece tampoco admisible el vocablo railes por carriles o rieles. Pero, aparte de estas imperfecciones puramente de detalle y que en parte deben ser atribuidas al origen inglés de los libros consultados en esta sección por el autor, la doctrina acerca de la estructura e impurezas de los aceros parece bien orientada. Sólo se observará que la influencia del fósforo y azufre en los aceros, si bien perniciosa, no lo

es en la medida que venía atribuyéndosele en épocas anteriores; y que los pliegos de condiciones modernos tienden a una mayor tolerancia que la admitida antes.

El examen de los proyectiles lanzados por los alemanes sobre París, cuyos fragmentos acusaban proporciones de azufre y fósforo muy superiores a las admitidas hasta entonces, y que, sin embargo, habían resistido los enormes choques y presiones del disparo sin quebrantarse, originaron la revisión de las condiciones exigidas hasta entonces.

El tratamiento mecánico de los aceros está perfectamente estudiado en el capítulo siguiente; esto es, el IX; pero se observará que el empleo de algunas expresiones es poco conforme con el tecnicismo admitido; tales son *fuerza de tensión* por *resistencia a la tracción*, y *reducción de área* por *estricción*, entre otras. Una y otra son de origen británico y muy disculpables en quien, como el autor, ha trabajado asiduamente con técnicos norteamericanos.

Los ejemplos de recristalización, después de deformación y recocido, son interesantes, y las micrografías, obtenidas en parte por el mismo en colaboración con Rawdon, son claras y expresivas.

Los tratamientos térmicos de los aceros están expuestos en el capítulo X; son extraordinariamente interesantes e instructivas las micro-estructuras de las láminas XXIII y siguientes, acerca de recocidos y enfriamientos en el aire. El autor afirma con exactitud: «El examen microscópico no solamente da idea de la temperatura a que ha sido recocido un acero, sino que también indica muy claramente la velocidad con que se ha verificado el enfriamiento.» Esta afirmación, deducida lógicamente del texto, justifica la gran importancia de la metalografía para el taller siderúrgico.

Del estudio del temple, recocido y revenido, cuya importancia no puede encomiarse bastante, pasa el autor a las teorías del temple, materia abstrusa que ha originado y origina controversias sin fin. Después de exponer fielmente la teoría del carbono, las alotrópicas y otras, concluye con las siguientes palabras de Sauveur, que expresan el estado actual de la cuestión:

«Ninguna teoría de las presentadas hasta ahora satisface completamente nuestros deseos de una explicación científica aceptable de los muchos fenómenos que envuelve.»

Seguidamente trata de la cementación, de su objeto, temperatura, materias que se emplean para cementar y del tratamiento térmico más conveniente para la cementación.

Hemos encontrado excesivamente sumaria la exposición de los medios para determinar las temperaturas en los tratamientos térmicos. Opi-

namos que convendría incluir descripciones ilustradas del pirómetro Le Chatelier, de los aparatos Fery, termófonos pirámides Seger, etcétera.

El capítulo siguiente, XII de la obra, trata de los aceros especiales. Después de algunas consideraciones generales acerca de la constitución metalográfica de estas aleaciones, pasa al estudio de los aceros al níquel. De éstos dice el autor que «debido a su gran límite elástico pueden sufrir deformaciones notables que los aceros ordinarios no podrían sufrir sin romperse». No puede prestarse absoluta conformidad a esta observación; es indudable que, con respecto a un acero al carbono de igual ductilidad, al acero al níquel, tiene un límite elástico más elevado y, por consiguiente, admite coeficientes de trabajo más altos, que darán origen a deformaciones elásticas mayores, si los módulos de elasticidad de uno y otro son aproximadamente iguales; pasado el límite de elasticidad, las deformaciones que admitan sin romperse dependerán sólo de su ductilidad relativa; pero esas deformaciones y las cargas que las producen no tienen interés para el constructor, que no someterá nunca al material a esfuerzos superiores al límite elástico aparente, ni aun al de deformaciones proporcionales.

De los aceros al manganeso dice: «En la fundición son débiles tal vez por la presencia del carburo libre»; la expresión se presta a confusiones y conviene advertir que se refiere a las piezas moldeadas por fusión.

Entre las propiedades de los aceros al manganeso convendría mencionar una muy interesante: la de poseer una extraordinaria resistencia al desgaste por rodadura y rozamiento, lo que hace de ellos el acero ideal para la fabricación de carriles de vías férreas y tranvías.

De los aceros al molibdeno, dotados de propiedades interesantísimas, convendría tratar con mayor extensión.

«Los aceros perlíticos (al vanadio) tienen cargas de rotura tanto más pequeñas cuanto mayor es la proporción de carbono». Es de suponer que aquí se ha cometido una errata; lo indudable es que los aceros *perlíticos* al vanadio tienen una carga de rotura tanto más elevada cuanto mayor es la proporción de ese metal.

Los aceros rápidos al cromo-tungsteno son tratados con demasiada brevedad; convendría indudablemente dedicarles mayor extensión, por ser quizá los más interesantes entre los aceros especiales y los que han recibido aplicaciones más útiles.

Termina la obra con un capítulo dedicado a las fundiciones gris, blanca y maleable, y otro, muy breve, a los procedimientos macrográficos. Es

curioso e interesante el método magnético, descrito por el autor, para situar las grietas, oquedades y, en general, todas las soluciones de continuidad que pueda contener una pieza de acero.

Ultimada esta sumaria exposición del contenido de la «Metalografía aplicada a los productos siderúrgicos», la Academia estima como un deber de conciencia proclamar lo muy meritorio de este libro, habida cuenta de las condiciones de perentoriedad en que fué redactado. Los pequeños lunares que en el curso de esta noticia se han señalado no disminuyen el valor de la obra; son, a lo sumo, ligeras imperfecciones fácilmente subsanables en futuras ediciones, preparadas sin los apremios de tiempo en que ha sido elaborada la primera. La obra del señor Jimeno no es, como otras muchas dedicadas a la Metalografía, una compilación de datos entresacados de distintos libros, sino, en gran parte, trabajo directo realizado en talleres mecánicos y laboratorios dotados de excelente material y regidos por un personal adiestrado de larga fecha en la investigación metalográfica. Durante el año de su permanencia en los Estados Unidos tuvo ocasión de utilizar los consejos y enseñanzas de profesores distinguidísimos que iniciaron y encauzaron su labor en forma que le permitió un intenso rendimiento.

En resumen: el señor Jimeno, ventajosamente conocido en el medio científico español, y aun podríamos decir en el internacional, por sus monografías sobre temas de Físico-Química, dadas a conocer en los Anales de la Sociedad Española de Física y Química, en los Congresos de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, en las publicaciones del Laboratorio de investigaciones físicas y en revistas extranjeras importantes, es acreedor a que le sea tenida en cuenta como un mérito más en su carrera la «Metalografía aplicada a los productos siderúrgicos» de que es autor.

28 febrero 1923.