

CONSIDERACIONES SOBRE EL ESTADO METÁLICO

●
POR ANTONIO LÓPEZ FRANCO
INGENIERO DE CAMINOS

El Dr. E. Jimeno, Rector de la Universidad de Barcelona, desarrolló, el año 1936, este interesante tema, mediante varias conferencias, en el Instituto de la Metalurgia y de la Mecánica de la citada Universidad, que fueron publicados en la revista *Metalurgia y Construcción Mecánica*, correspondiente a los meses de marzo, abril y mayo (de aquel año), y el autor, con quien me une una antigua amistad, tuvo la atención de enviarme un folleto en el que aparecen recopiladas no sólo su título, sino más, el concepto que envuelve el mismo, de considerar la función metálica como un estado de agregación, me resultó, desde el primer momento, atrayente y sugestivo, y, después de la excelente impresión que me produjo su lectura, me creí en el caso de hacer una ligera reseña para la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, la cual no llegué a entregar por haber tenido lugar, precisamente en aquellos días, la incautación violenta de la Redacción.

Hoy, en que gracias a Dios y al esfuerzo de nuestro Glorioso Ejército las cosas han vuelto a su estado legal, doy a la publicidad las cuartillas escritas hace cuatro años, milagrosamente salvadas.

* * *

Empieza el Sr. Jimeno por hacer algunas consideraciones sobre los estados de agregación, gaseoso, líquido y sólido, que presentan microestructuras internas de creciente complicación, en las que la sencillez de la primera permitió e inició estudios profundos sobre la constitución de la materia que actualmente pueden ser utilizados en metalurgia, buscando casos prácticos en los que estos conocimientos pueden aplicarse a posibles mejoramientos de los materiales y de sus métodos de trabajo, problema difícil, muchas veces irresoluble, puesto que los sólidos, en general, y más aún, en circunstancias lejanas a sus puntos críticos, representan el máximo de complicación en la microestructura de la materia, causa de que existan muchos puntos oscuros sin explicación en sus fenómenos físico-químicos.

No obstante, en los sólidos cristalinos, se han podido descubrir microestructuras perfectamente organizadas, y se ha visto que su comportamiento físico-químico es función a la vez de las propiedades de los átomos o iones y de su disposición geométrica, influyendo ésta principalmente en las propiedades físicas del material; de esto es de lo que principalmente se ocupa el conferenciante.

“¿Qué fuerzas intervienen en la formación de un cristal?” “¿Qué técnicas y conocimientos han contribuido más al desarrollo del estado sólido y en particular del estado metálico?”

Estas dos preguntas constituyen los encabezamientos de los párrafos que el autor desarrolla a continuación; contesta a la primera citando inmediatamente, como decisivas, todas aquellas acciones que conducen, más o menos directamente, al concepto de afinidad química, pero dando importancia también a las acciones físicas debidas a la influencia de los elementos estructurales vecinos, incluyendo la denominada atracción de Wan der Waals; al referirse a los metales, en general, cristalinos, en los que, si son puros, o sea no conteniendo más que una clase de átomos, descarta todas las causas químicas, resultando que la cohesión, tanto en estado líquido como sólido, sólo puede ser de naturaleza puramente física.

Señala el hecho de que casi todos los tratados de Química inorgánica estudian las propiedades de los metales derivadas de las teorías de Nernst, excluyendo las que se relacionan con la físico-química del estado sólido, que son precisamente las más interesantes desde el punto de vista de las aplicaciones, y que no pueden estudiarse de otro modo que mediante el conocimiento de las formas de microestructura que caracterizan el estado metálico, esperándose trabajos más sistemáticos y completos en este sentido que permitan relacionar las propiedades externas con las formas de estructura.

Contesta después a la segunda pregunta, señalando, en primer lugar, las colaboraciones prestadas en varios aspectos por la metalografía y el avance dado por la espectrografía de los rayos X,

para los que, como sabemos, son retículas de difracción las estructuras cristalinas, técnica que tiene reservadas misiones importantes en los problemas del estudio de las resistencias de los materiales sólidos empleados en ingeniería, y en lo que afecta a los metales, se ha visto cómo de las investigaciones hechas sobre un cristal elemental se han deducido las propiedades de los conjuntos que constituyen los metales industriales.

Cita, asimismo, los estudios hechos a temperaturas altas, a presiones grandes y bajo la influencia de campos magnéticos, así como sobre micrografías con luz polarizada, deteniéndose en el método de la difracción electrónica, en el que la pequeña penetración de los haces de electrones, comparada con la mucho mayor de los rayos X, permite estudiar las estructuras superficiales antes y después de los pulimentos y protecciones.

Hace después referencia a las intervenciones del conocimiento de la estructura atómica y mecánica cuantista y a la esperanza que se tiene en la espectrografía óptica para el descubrimiento de impurezas o determinación de sustancias de adición, con apreciación de pequeñísimas e insignificantes proporciones; cita a continuación las dificultades que por el momento aparecen sin solución, a pesar de los medios de investigación empleados, terminando esta parte de la conferencia resumiendo las propiedades de los cristales en dos importantes grupos:

a) Propiedades insensibles a la estructura, tales como la densidad y calor específico.

b) Propiedades sensibles a la estructura, como dureza, cargas de rotura, conductibilidad y fenómenos magnéticos.

* * *

La segunda parte del trabajo empieza con el epígrafe: "Estructura de los metales y algunas de sus propiedades". En ella, el Sr. Jimeno establece las diferencias entre la función metálica, considerada químicamente (formación de hidróxidos básicos y carácter electropositivo), propiedades que se derivan del átomo y las características físicas, plasticidad, tenacidad, etc., que dependen de su estructura; estudia otras propiedades, tales como el brillo metálico, conductibilidad y facultad de emitir electrones que se aprovechan en las válvulas de los aparatos de radio y células fotoeléctricas, y señala como diferencia fundamental entre los metales y no metales, en que los primeros, en estado gaseoso,

siendo transparentes y cumpliendo todas las leyes que definen este estado (Boyle, Gay-Lussac, Vander Waals y teoría cinética), no forman moléculas poliatómicas, por no poseer suficientes electrones externos para completar las configuraciones de la teoría de Bohr.

Acto continuo, se ocupa de las formas de los retículos cristalinos de los metales, hexagonal y cúbica; esta última, centrada en las caras o en el cuerpo; reproduce la serie periódica de los elementos, ordenados según Tammann para fines metalográficos, ampliada con los números de coordinación, formas alotrópicas y radios atómicos, deduciendo del estudio consecuencias de gran interés para la metalografía.

Diferencias entre los estados cristalinos y vítreo.—Tammann no admite que el estado amorfo sea un estado particular de agregación; lo considera como un líquido sub-enfriado, con gran fricción interna, y para conciliar las dos hipótesis, hay que tener en cuenta la mayor analogía que existe entre los líquidos y gases; en el estado amorfo, la falta de regularidad de su estructura se manifiesta en sus propiedades físicas, tales como la imposibilidad de deformarse por deslizamiento, ser quebradizos a temperaturas ordinarias y viscosos a temperaturas altas, y aunque las propiedades químicas no varíen, al menos, teóricamente, se verifica que, para un mismo reactivo y una misma sustancia, la actividad es siempre mayor en estado vítreo, y la observación de las figuras de corrosión o de ataque de sustancias cristalinas demuestran la influencia de la orientación de los planos reticulares; siguen algunas consideraciones sobre el estado vítreo en los metales, que, según se deduce de los estudios de la difracción electrónica, no se manifiesta, desde luego, en las masas compactas, sino únicamente en las superficies pulimentadas, que en el oro tiene un espesor de 30 Å°.

Se detiene principalmente el Sr. Jimeno en el estudio de las propiedades derivadas de la plasticidad, recordando que la maleabilidad y la ductilidad se deben al deslizamiento de los planos en que se encuentran situados los iones del metal, que, por ser muy numerosos y muy concentrados, deslizamientos insignificantes producen efectos manifiestos, y esto se confirma preparando, en las probetas para tracción, superficies pulimentadas, que se observan durante el proceso con el microscopio metalográfico; acompañan al trabajo del Sr. Jimeno cuatro fotografías, así obtenidas, de 100 aumentos

de la superficie de una probeta de acero de 0,07 por 100 de carbono, sometida a las tensiones de 2 320, 2 531, 2 883 y 3 094 kg./cm.², y en ellas pueden observarse bien las líneas de deformación, apreciándose la gradación de su formación en función del esfuerzo. Generalmente, el corrimiento se realiza en direcciones paralelas a los planos y líneas de máxima densidad reticular.

Por todo esto, al forjar, estampar, trefilar, laminar, etc., no se destruye la naturaleza cristalina propia del metal, mientras el esfuerzo se mantiene dentro de ciertos límites.

Más tarde, se hace referencia a los trabajos propios hechos por el autor, en los que se demuestra matemáticamente que los primeros deslizamientos en las probetas de tracción tienen lugar, según planos, a 45° con el eje; adjunta también una fotografía metalográfica de la macroestructura de la superficie más ancha de una probeta de sección rectangular de acero con 0,07 por 100 de carbono, en la que aparecen las llamadas líneas de Luder que señalan las deformaciones.

Se llega así a la consecuencia de que un material trabajado en frío, ya sea trefilado, laminado o estampado, es más duro, más elástico, menos dúctil, menos denso, más conductor y más activo químicamente que el mismo material fundido o recocido.

“¿Qué transformaciones se han producido en el material?” Otro epígrafe en forma de pregunta, a la que contesta el autor exponiendo la teoría de Beilby, según la cual, al deslizarse un plano mediante una presión grande y localizada, la extensión del efecto hace que, en la parte del material contigua a la localización, la distancia a que han quedado los iones es mayor que la que exige la redícula, destruyéndose, en la pequeña zona afectada, la microestructura cristalina, que pasa al estado vítreo, quedando así una parte más dura, que obstaculiza después todo movimiento, obligando a entrar en juego nuevos planos reticulares, en los que se repite el efecto anterior, y sucesivamente se va extendiendo la zona vítrea y, por tanto, aumentándose la dureza y disminuyendo la ductilidad, hasta que se produce la fractura; esto es lo que sencillamente hacemos al partir una barra o alambre metálico, mediante dobleces alternos en un mismo punto.

Esta teoría, modificada por algunos autores, denegada por muchos y contradicha por bastantes experiencias, podrá no ser cierta, pero el hecho es

que se producen modificaciones en el estado del material, aumentándose, como hemos dicho, la dureza y, además, el límite de elasticidad, disminuyendo la plasticidad y la conductibilidad, aumentándose tensiones internas que producen un equilibrio inestable, inestabilidad que se demuestra observando que, mediante un recocido, puede tener lugar una recristalización, tanto más manifiesta cuanto mayor sea la temperatura del tratamiento, y a este efecto se citan las experiencias hechas por el autor en probetas de sección rectangular después de rotas, acompañando dos fotografías de las macroestructuras de las superficies menores después de recocidas a 686°; una, enfriada al aire, y la otra, en el horno, atacadas después por ácido nítrico al 2 por 100, y se observa cómo el tamaño del grano resultante depende del grado de deformación sufrido, disminuyendo progresivamente a medida que se acerca a la fractura, donde la fragilidad del material es grande.

Conductibilidad. — Trata de este punto el señor Jimeno haciendo ver cómo la máxima conductibilidad corresponde a los metales monovalentes, disminuyendo, a medida que aumenta la valencia, hasta el punto que los tetravalentes se comportan, algunas veces, como no metales; menciona el hecho de que los metales mejores conductores son los menos resistentes, y que los de punto de fusión bajo son, en general, blandos y buenos conductores; los elementos verdaderamente metálicos presentan microestructuras con gran agrupamiento de iones, y, a medida que este empaquetamiento se hace más amplio, las propiedades metálicas se debilitan, es decir, que el carácter metálico está ligado a un estado de agregación que permite dejar electrones sueltos en mayor o menor grado de libertad, y cuanto mayor sea el número de éstos, más pronunciado será el carácter metálico.

* * *

Teorías acerca del estado metálico. — Constituye este último tema tocado en la conferencia, y empieza citando, como características del estado metálico, la existencia de electrones libres y el empaquetamiento íntimo de los elementos estructurales en formas cristalinas sencillas, pero sin que esto sea suficiente para explicar todas las propiedades de los metales, por lo que a continuación se exponen, resumidas, otras características y teorías.

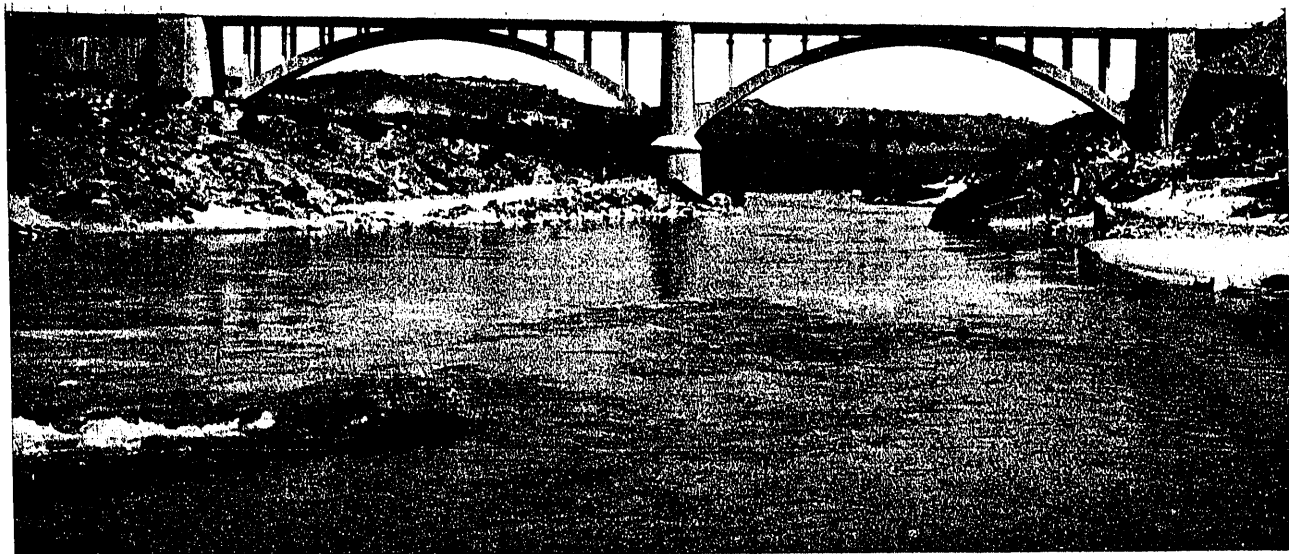
Comienza por la explicación de las teorías sobre la conducción eléctrica, la de Drude (1900), que

considera la corriente como un flujo electrónico a través de los espacios intra-atómicos del metal, al cual pueden aplicarse todas las teorías de los gases perfectos, tales como la cinética y la de Maxwell y la más moderna de Lindemann (1915), que no acepta la existencia de electrones libres, sino que los considera formando, a su vez, otra retícula, que se traslada a través de la atómica, pasando los electrones por canales entre los átomos, pero no con independencia, sino constituyendo una malla completa, siendo su movimiento influenciado por las vibraciones de los átomos; esta segunda teoría da mejor explicación que la primera a las propiedades térmicas y eléctricas de los metales, pero sin apoyo cuantitativo, y ambas resultan insuficientes, en general, lo mismo que otras más recientes, como la Wjen-Grüneisen, que modifica, mejorando, la primera de las antes citadas.

Hace referencia, por último, a las aplicaciones que puede tener al caso la moderna mecánica ondulatoria y la teoría de los cuantos, con las que un microcristal viene a ser como un átomo amplificado con un gran número de órbitas electrónicas, llegándose al llamado "Método estadístico de Fermi", y teoría de Sommerfeld-Fermi, la cual, si no es completa ni absolutamente satisfactoria, hace desaparecer muchas de las dificultades que se presentan en las otras para explicar las propiedades fundamentales de los metales.

* * *

En todo el desarrollo de la conferencia, y principalmente al final de la misma, se hacen multitud de citas de trabajos relacionados con la cuestión, algunos de los cuales son originales del Sr. Jimeno.



Puente de Silos, sobre el Tajo, inaugurado el día 17 de abril y construido por la Jefatura de Obras Públicas de Toledo.