

ALGUNAS OBSERVACIONES METALOGRAFICAS

LA INFLUENCIA DEL FOSFORO Y DEL AZUFRE EN LA ESTRUCTURA DE LAS LIGAS DE HIERRO Y CARBONO

Por ENRIQUE SUAREZ DEL REAL

Al Prof. H. M. Boylston, afectuosamente.

ENTRE las impurezas que las ligas de hierro y carbono, producidas éstas en enormes cantidades por la industria siderúrgica, contienen, el azufre y el fósforo figuran en primera línea, en primer lugar porque constantemente están presentes, y en segundo, porque su presencia es generalmente indeseable. Por estas razones creemos que el estudio de la acción de estos metaloides sobre la perlita es de particular interés. En esta memoria nos proponemos hacerlo, sin dejar de reconocer que autores mejor preparados han casi agotado el tema. Sin embargo, en el curso de nuestras actividades en el campo de la metalurgia física, hemos logrado hacer algunas observaciones de finos detalles estructurales que no hemos tenido oportunidad de encontrar en la literatura que ha estado a nuestro alcance, lo que, en nuestra opinión, justifica la aparición de estas líneas. Otra razón más nos impulsa a dar forma sintética a nuestras observaciones; ella es el despertar el interés por esta clase de investigaciones metalográficas, cuya importancia práctica escapa a toda ponderación, a pesar de lo cual nuestra industria metalúrgica, con muy raras excepciones, no les da cabida en sus laboratorios.

* * *

Observando al microscopio un ejemplar de hierro colado de matriz eutectoide y suficientemente alto en fósforo para que presentase inclusiones de steadita, nos sorprendió ver que en algunos lugares la frontera entre la partícula de steadita y la perlita circundante no estaba bien definida y, además, la posición de la cementita del eutectoide había sido alterada. Nos ocurrió entonces hacer una serie de observaciones detenidas para estudiar la acción del fósforo y del

azufre sobre la perlita. Los resultados de éstas los damos a conocer en las líneas que siguen.

Bien sabido es que en las ligas de hierro y carbono éste no se encuentra libre, sino combinado formando generalmente el carburo de fórmula Fe_3C , el que por encima de las temperaturas correspondientes a los puntos A_3 , $A_{3.2}$, $A_{3.2.1}$, o A_{cm} , se encuentra formando la solución sólida que Osmond llamó "austenita", en homenaje al ilustre metalurgista inglés Roberts-Austen, solución que a temperaturas inferiores a las del intervalo crítico, se transforma en el eutectoide perlita y ferrita libre en las ligas de composición hipoeutectoide o cementita libre en las de composición hipereutectoide, es decir:

Austenita con 0.85% de C \rightarrow perlita (1)

Austenita con más de 0.85% de C \rightarrow perlita más cementita libre (2)

Austenita con menos de 0.85% de C \rightarrow perlita más ferrita libre (3)

Tomando en primer lugar el caso más sencillo (1), a la temperatura ordinaria esta liga tiene la estructura de la figura número 1, a un aumento de 2,500 diámetros. Está formada por laminillas de cementita, a pequeña distancia una de otra, y entre ellas se encuentra el otro componente del eutectoide, la ferrita, más o menos pura en las ligas industriales.

En el caso (2), fig. 2 (a un aumento de 1,000 X) vemos partículas de perlita, de color oscuro, con partículas y estrías blancas de cementita, y en la fig. 3, que ilustra el caso del mismo número, vemos las partículas oscuras de perlita en una matriz de ferrita.

Estas estructuras, que podemos llamar normales, siguiendo la terminología del Dr. Sauveur, son obtenidas por un enfriamiento lento a partir de temperaturas elevadas, bien sea desde la de solidificación, o más generalmente desde 900-1,000 grados C., y en presencia, en las ligas industriales, de cantidades apreciables de impurezas, unas benéficas, como el silicio y el manganeso, otras nocivas, como el fósforo y el azufre.

Estas dos últimas no se encuentran al estado elemental, sino combinadas: el fósforo, bajo la forma de fosfuro de fórmula Fe_3P , que es moderadamente soluble en la ferrita, y por lo tanto, su presencia en los aceros pasa desapercibida a la observación directa; indirectamente puede notarse su presencia por medio de los reactivos a base de cloruro cúprico, que ponen de manifiesto la estructura de bandas, causada por la segregación que provocan pequeñas cantidades del metaloide que venimos mencionando. En los hierros colados, que contienen cantidades relativamente altas de carbono y por lo general también de fósforo, se observan otras estructuras que estudiaremos en detalle en las líneas que siguen.

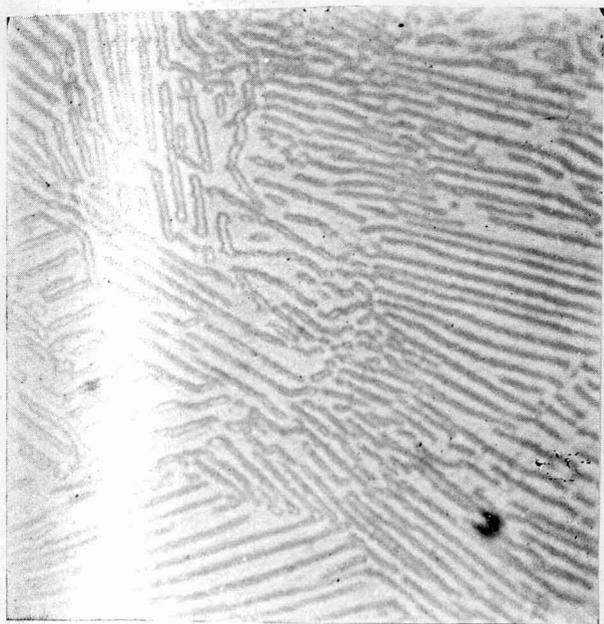


FIGURA 1



FIGURA 2

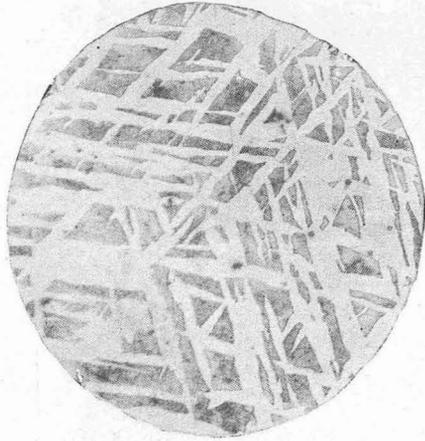


FIGURA 3

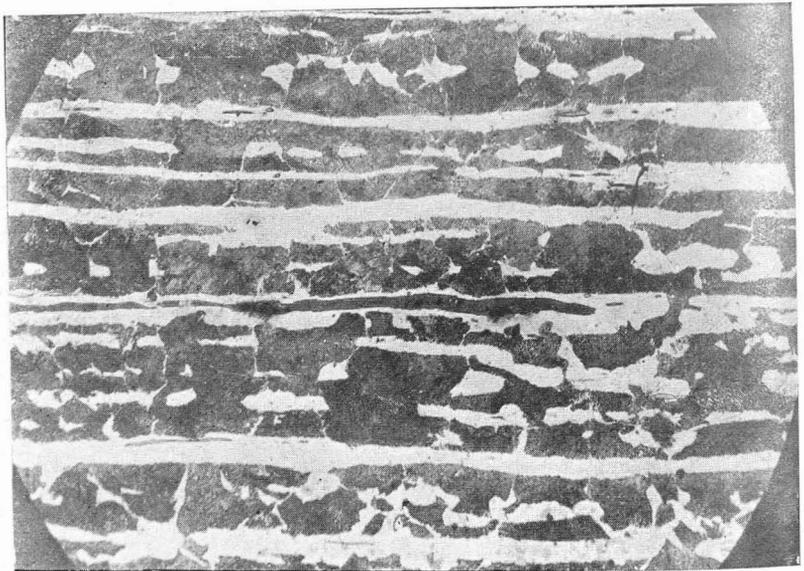


FIGURA 4

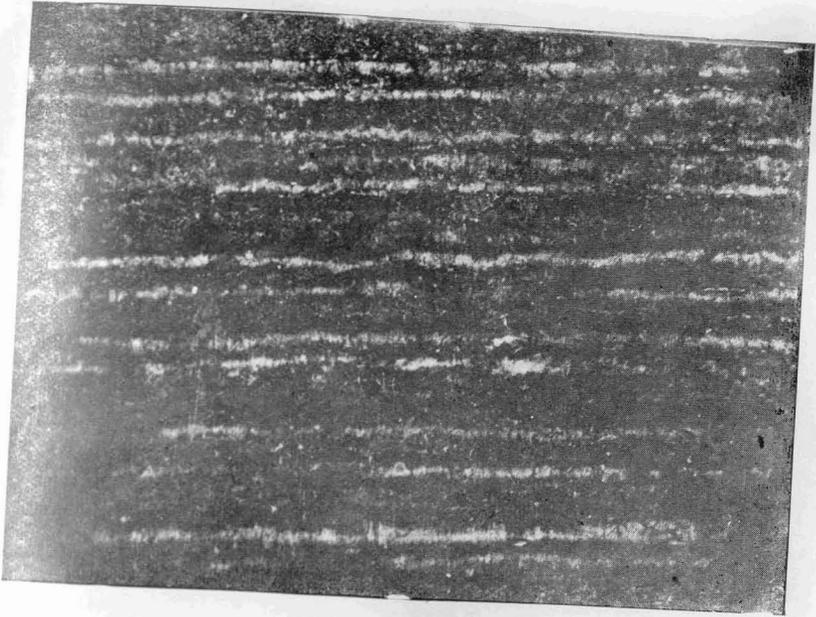


FIGURA 5

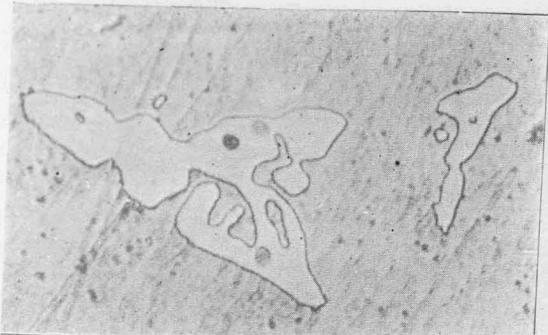


FIGURA 6



FIGURA 7

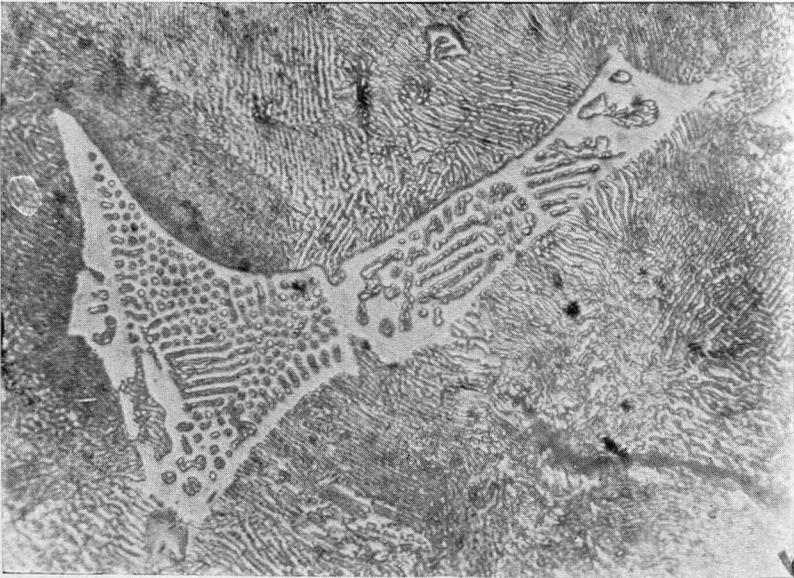


FIGURA 8

En cuanto al azufre, se observa en las ligas industriales que está combinado con el manganeso, formando MnS , bajo la forma de partículas redondas, en las ligas coladas, y en los productos laminados, bajo la de partículas alargadas de aspecto vermiforme. Según algunos autores, estas partículas no son de sulfuro de manganeso puro, sino que contienen algo de sulfuro de hierro en solución.

Con estos antecedentes vamos ahora a estudiar la influencia sobre la perlita tanto del fósforo como del azufre, valiéndonos para ello de algunas micrografías originales. Para mayor claridad, en nuestras observaciones hemos estudiado la acción del azufre en aceros, ya que la presencia en el hierro colado, tanto de partículas de grafito como de steadita, complica las estructuras. La acción del fósforo sí la hemos estudiado en aceros y hierros colados.

Quando en el acero hay una cantidad anormalmente alta de fósforo, acabamos de decir que se obtiene una estructura de bandas, debida a que el fósforo Fe_3P , moderadamente soluble en la ferrita, y el carburo Fe_3C , o cementita, se repelen mutuamente. En la fig. 4 vemos tal estructura; las bandas negras son de perlita y las claras de ferrita, teniendo en solución sólida el fósforo. De paso observaremos que en la ferrita hay numerosas partículas de sulfuros, lo que podría hacer creer que éstos también evitan la perlita. Más adelante dilucidaremos este punto. Con el reactivo de Le Chatelier, que contiene cloruro cúprico, puede ponerse fácilmente de manifiesto esta estructura de bandas: las porciones pobres en fósforo precipitan fácilmente el cobre que queda adherido, formando una película roja, mientras que las ricas en este metaloide no lo precipitan con la misma rapidez; por lo tanto, si la fotografía reprodujese los colores, las porciones oscuras de la fig. 5 aparecerían de color rojo y las claras con el peculiar de la ferrita.

La fig. 5, obtenida de la misma muestra que la fig. 4, nos revela el aspecto que se obtiene tratando la superficie del acero con el reactivo de Le Chatelier.

En los hierros colados la influencia del fósforo no es menos importante, y como en éstos la cantidad de fósforo es, por regla general, más alta que en los aceros, aparecen las partículas de fósforo unas veces aisladas o más generalmente como el eutéctico steadita.

Antes de continuar es conveniente estudiar la génesis y la estructura de la steadita:

En el hierro puro puede disolverse hasta 1.7% de fósforo y su presencia pasa desapercibida bajo el microscopio; en presencia de carbono, la solubilidad del fósforo disminuye considerablemente; en los aceros puede estar en solución sólida 0.1%, pero en los hierros colados, que contienen mucho carbono, y principalmente en los hie-

ros que contienen mucho grafito, dice el Dr. Sauveur, el fosfuro es "casi completamente" precipitado de la solución y se obtiene el eutéctico steadita. En la fig. 6, obtenida de un hierro colado con muy poco carbono combinado, vemos que en una matriz de ferrita hay varias partículas de contornos bien definidos y con la apariencia de incrustaciones de un cuerpo graso. Estas partículas son de fosfuro y en la más grande vemos que han sido aprisionadas varias partículas de ferrita, y además, otras porciones de hierro quedaron en vías de englobamiento.

La ferrita puede diferenciarse claramente por su superficie rugosa y el fosfuro por su superficie lisa. Si examinamos a un aumento suficientemente alto unas partículas de steadita (fig. 7 a 2,500 X y fig. 8 a 850 X), nos damos perfecta cuenta de su estructura: en una matriz de fosfuro hay numerosas partículas de hierro que forman con aquél el eutéctico. En esta misma figura 8, que corresponde a un hierro colado de matriz eutectoide, vemos que la perlita que rodea a la partícula de steadita tiene la estructura normal, laminillas alternativamente de ferrita y de cementita.

En ocasiones hemos observado que la frontera entre la perlita y la steadita no está bien definida y la estructura normal de aquélla ha sido alterada al haber sido dispersada la cementita (fig. 9). Esta estructura creemos que se debe a que el fosfuro no precipitó completamente, debido quizá a un enfriamiento relativamente rápido, refugiándose en la partícula de steadita, y al quedar así difundido, ha rechazado la mayor parte del carbono de la austenita primitiva, y a temperaturas inferiores a las del intervalo crítico, esta austenita, pobre en carbono, se ha transformado en un eutectoide con una pequeña cantidad de cementita que ha precipitado como laminillas. En algunos lugares de la misma figura, y lejos de la porción ocupada por la steadita, puede observarse perlita con su fina estructura lamelar, pues esta micrografía fue obtenida a un aumento de 950 diámetros.

En cuanto al azufre, ya hemos dicho que se encuentra siempre combinado. En las ligas que con objetos de investigación se han preparado partiendo de hierro y azufre puros, se ha observado que se forma FeS bajo la forma de membranas que tienen una influencia muy nociva sobre las propiedades mecánicas del hierro. Para neutralizar esta acción, se agrega a las ligas industriales una pequeña cantidad de manganeso, con el que de preferencia se combina el azufre, formando sulfuro de manganeso MnS bajo la forma de partículas esféricas en las ligas coladas, y en las laminadas, bajo la de partículas alargadas, como antes lo hemos dicho; fig. 10, obtenida de una muestra de acero después de pulir debidamente la superficie y sin ningún tratamiento químico. Las inclusiones de sulfuros aparecen sin necesidad de poner en evidencia la estructura; si se trata la superficie pulida por medio

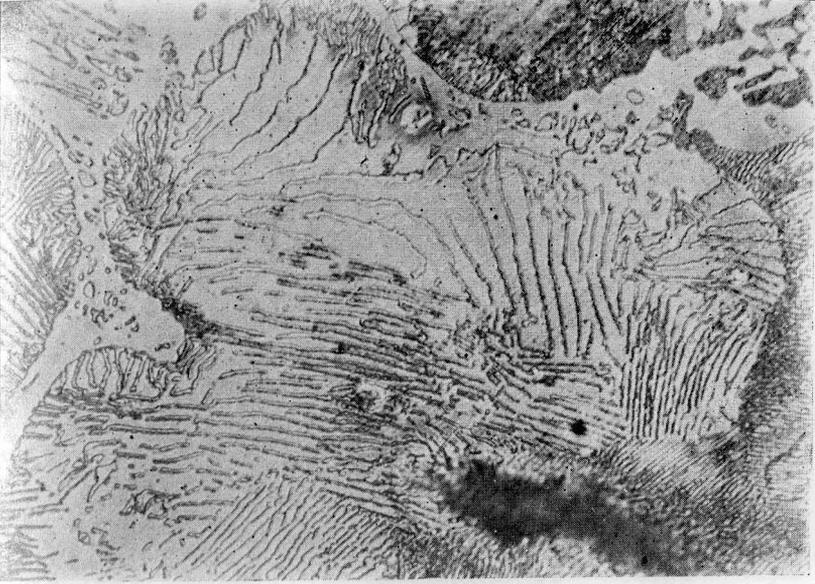


FIGURA 9



FIGURA 10

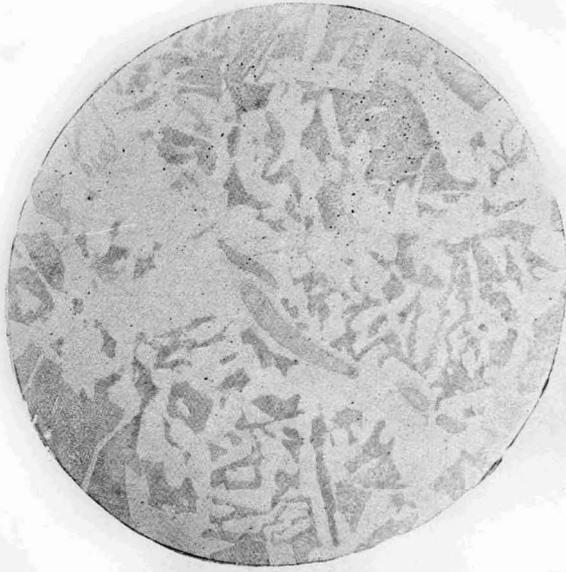


FIGURA 11

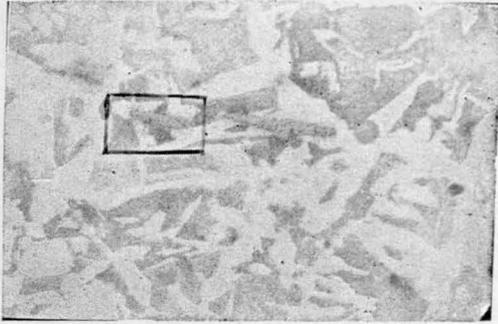


FIGURA 12

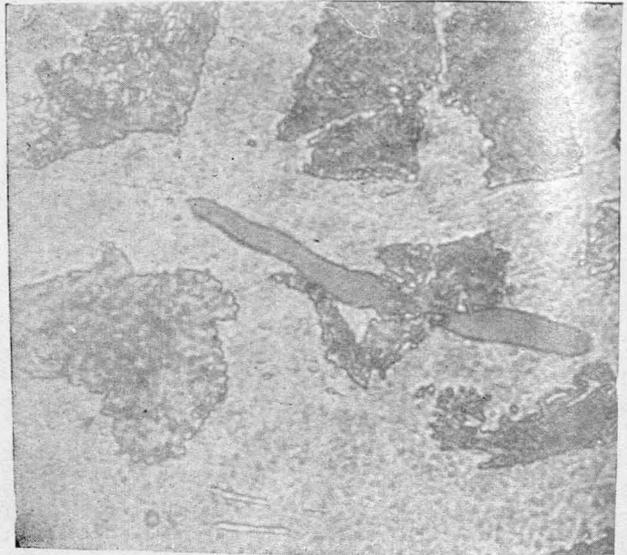


FIGURA 13

de una solución diluída de ácido nítrico, se obtiene la estructura del acero (fig. 11). Comparando ésta con la fig. 5, vemos que las inclusiones de sulfuros se encuentran en la ferrita, y, como antes dijimos, podría creerse que la perlita y los sulfuros también se evitan, pero hemos podido observar que no es así; en la fig. 12 obsérvase dentro del cuadro una inclusión de sulfuros que traspasa una partícula de perlita, y en otro lugar se observa una partícula de sulfuros en contacto con otras de perlita.

Finalmente, en la fig. 13 observamos que una partícula de perlita está en contacto con otras dos de sulfuros; probablemente estas dos últimas partículas formaron en la austenita primitiva una sola y sobre ella se precipitó el carburo y se formó el eutectoide. La dirección común de las dos partículas de sulfuros y la carencia de contorno preciso en la frontera con la perlita, nos inducen a creer que formaron, como antes decimos, una sola en la solución sólida primitiva.