

ción que experimenta al enfriarse es bastante considerable. La escoria que acompaña á esta fundición, tiene también algunos caracteres particulares; es muy líquida, de color verde-pardo, y contiene mucho hierro. Esta fundición es siempre producida por el tratamiento de los minerales de hierro, que contienen manganeso, cualquiera que sea la cantidad de carbono que se emplee para fundir. El manganeso da generalmente una gran fusibilidad á estos minerales: de donde resulta que el hierro espático y el hierro oxidado pardo, reunidos, forman la mezcla más fácil de fundir. Sin embargo, esta fundición difícil de refinar completamente, es poco estimada cuando se trata de obtener *hierro dulce*, pero da mejor acero natural.

No debe confundirse esta fundición blanca natural, con la que se obtiene de todas clases de minerales, cuando la operación es mal conducida ó el carbono no está en cantidad suficiente, ni con la que resulta del enfriamiento repentino de la fundición gris.

La fundición gris es de color gris que tira á negro; su grano es fino y brillante; contiene mucho más carbono que la precedente, y es menos dura y menos fusible. Al correr despide chispas rojizas; su superficie es bastante unida, y ordinariamente está cubierta de una película de carburo de hierro. Es más pesada que la fundición blanca en la proporción de 100 á 94. Se contrae menos al enfriarse; y en fin, se consume próximamente, una quinta parte más de carbono para obtenerla. La escoria que la acompaña, es blanca, pastosa, y de fractura laminosa. Esta fundición nunca es producida por los minerales de hierro manganesíferos. Se distinguen dos clases de hulla; la fundición gris agria, que sufre mucha merma en la refinación, y da mal hierro; y la fundición gris dulce que tiene cualidades opuestas á estos defectos. Esta es la más estimada; algunas veces es más difícil de refinar que la primera.

Los minerales de hierro, tratados por la hulla depurada, dan constantemente fundición gris; tal es la de Inglaterra.

La fundición gris enfriada repentinamente y como templada, toma, como acabamos de decir, el aspecto y la dureza de la fundición blanca; hay entre estas dos cualidades de fundición, un gran número de modificaciones intermedias.

La fundición se emplea muchas veces bajo este estado en los usos de la vida. La gran facilidad con que se licua y modela, la hace propia para la fabricación de un gran número de utensilios. Frecuentemente antes de modelarla, se la refina fundiéndola de nuevo en hornos de reverbero. Los moldes en que se echa se hacen de arena fina arcillosa, susceptible de conservar por un fuerte batido las formas más delicadas. Pero la fragilidad de la fundición, y sobre todo su dureza, son un obstáculo á que se emplee en objetos de adorno, que exigen ser concluidos con esmero. Las formas que presenta al salir del molde, son siempre embotadas, obtusas, y necesitarían en muchos casos ser reparadas á cincel. Es preciso, para esto, ablandar al menos la superficie de la fundición. Reaumur ha llegado á este resultado, ya haciendo calentar fuertemente la fundición en medio de un cemento de polvo de huesos y de carbono, ya cubriéndole con una capa de carburo de hierro, ya, finalmente, fundiendo el hierro gris en medio del polvo de carbono, y echándole en moldes enrojecidos que no se enfriaran sino muy lentamente. La fundición así reconocida, puede ser limada y cincelada. Entonces se pueden hacer de ella obras que no se harían de hierro forjado sino con gastos considerables.

El hierro fundido no es más que un paso del mineral de hierro al hierro metálico; para adquirir todas las propiedades de este metal, exige ser privado del carbono y del oxígeno que están combinados con el

hierro. Se llama *refinación* á la operación de reducir el hierro fundido al estado de hierro puro. Varios procedimientos se siguen para llegar á este resultado. Daremos á conocer los principales empezando por el que más se usa.

La *forja* ó horno de refinación ordinario, se parece á primera vista á las fraguas de los cerrajeros. Se compone de un suelo elevado sobre el del taller, de una chimenea en forma de cuévano que le cubre, de una especie de camisa ó guarda fuego de ladrillo que baja oblicuamente desde el tubo de la chimenea hacia uno de los pies derechos que la sostienen; esta pared debe proteger á los obreros contra la acción demasiado ardiente del fuego.

Una cavidad cuadrada guarnecida de planchas de hierro muy gruesas, se halla practicada en el suelo elevado del horno. Está destinada á servir de crisol ó más bien á contener la especie de crisol de brasa que se debe formar en ella; grandes fuelles dirigen su viento hacia esta cavidad.

Cuando se dispone refinar la fundición, se empieza por formar el crisol propiamente dicho. Se llena la cavidad cuadrada que acaba de describirse con polvo de carbono bien batido que se llama *brasca ligera*; un trabajador forma una cavidad hemisférica en esta masa de polvo de carbono, y coloca en ella los pedazos de hierro fundido que se han de refinar; rodea el todo de carbones de leña encendidos, y el fuego es elevado muy pronto á un alto grado de intensidad por el viento de los fuelles.

No tarda el hierro en entrar en fusión; se le mantiene algún tiempo en este estado cuidando de dirigir el viento de los fuelles sobre su superficie; un trabajador separa además las escorias que quitán á la superficie el contacto del aire; el objeto de esta práctica es hacer quemar por el aire exterior, y por el de los fuelles el carbono contenido en la fundición; y para acelerar esta combustión, el obrero agita continuamente el hierro confundido con una barra de hierro. A medida que el carbono es quemado por el oxígeno del óxido de hierro y por el de la atmósfera, el hierro pasa al estado metálico y se hace menos fusible; en el baño de la fundición se forman grumos de hierro metálico que el obrero procura reunir en una sola masa. Esta masa porosa lleva el nombre de *bola* ó masa. Cuando es de un tamaño conveniente, el obrero la saca fuera del crisol y la echa sobre una plancha de hierro fundido que hay en el suelo del taller. Entonces varios trabajadores la golpean con grandes martillos, hacen salir la escoria abundante que mantenía separadas sus partes, y la dan una forma casi esférica; entonces se la lleva bajo el martinete para empezar á forjarla.

El martinete es un gran martillo de hierro dulce, que pesa 450 quilógramos próximamente; está sujeto al extremo de una larga viga y puesto en movimiento por una máquina de agua ó de vapor. Golpea con gran fuerza y con una velocidad variable á voluntad del obrero, sobre un fuerte yunque enterrado en parte en la tierra, y sostenido por un poste de madera muy sólido. Este yunque es de la misma naturaleza que el martillo y poco más ó menos de la misma forma.

La bola, forjada bajo el martinete y vuelta continuamente por el trabajador encargado de esta operación, toma la forma de un prisma corto de ocho planos, cuatro anchos y cuatro estrechos, y toma el nombre de *pieza*. Se vuelve á llevar la pieza al fuego y se la mantiene bajo el aire de los fuelles por medio de fuertes tenazas. Cuando está bastante caliente, se la vuelve á colocar bajo el martinete y se golpea en su parte media. Entonces se alarga y adelgaza en esta parte conservando una masa en cada una de sus extremidades.

En este estado se la vuelve á llevar al fuego y se la forja de manera que una de sus extremidades desapa-

rezca; entonces forma una ancha tira de hierro terminada en una masa por una sola de sus extremidades.

Por último, se la hace sufrir el fuego por cuarta vez y se la vuelve á colocar bajo el martinete; la masa que quedaba desaparece; la tira ó barra de hierro está forjada y puede entregarse al cerrajero ó al herrero.

Tal es el procedimiento general de la refinación del hierro fundido ó de la preparación del hierro. Si no es el mejor, es el que más se sigue en muchos países. Debemos dar á conocer los diferentes métodos que se diferencian de él y las mejoras que se han introducido.

Hay en los Pirineos ciertos minerales de hierro espático mezclados con hierro hematitas que son bastante ricos y bastante fáciles de fundir para dar inmediatamente hierro en horno de refinación, sin que sea necesario hacerles pasar por la operación del alto horno. Se llama *método catalán* esta manera de tratar los minerales de hierro. La forja catalana está hecha como los demás aparatos de refinación; pero en lugar de poner el hierro fundido en el crisol, se coloca en el mineral, se funde en el crisol mismo y se sacan al cabo de cierto tiempo bolas de hierro que se extienden en barras por una serie de operaciones semejantes á las que acabamos de describir. Este método que no puede aplicarse sino á ciertos minerales de hierro infusibles y que conviene quizá exclusivamente al hierro espático de facetas pequeñas, tiene la ventaja de ser mucho más económico que el del alto horno, exigir un adelanto de fondos mucho menor, y no estar expuesto á tan grandes pérdidas.

En el país en donde la leña es muy rara como en Inglaterra, se ha tratado de refinar el hierro con la hulla depurada, parece que se ha conseguido emplear este combustible de una manera satisfactoria á pesar de las dificultades que hay que vencer.

Los procedimientos son muy diferentes de los que hemos descrito, y se debe su invención á los ingleses Cort y Purnell. Se hace primero sufrir al hierro fundido una nueva fusión en los refinados ordinarios calentados con hulla depurada; allí experimenta un principio de refinación y pasa al estado de fundición blanca. Esta fundición reducida á masas pequeñas, se coloca sobre el altar de un horno de reverbero calentado con hulla natural; se funde y hierve, y cuando se halla en perfecta fusión, se observan en su superficie llamas azules debidas á la combustión del carbono. Comúnmente se echa arena y pedazos de hulla sobre este baño de fundición para facilitar la formación de las escorias; se menea entonces la fundición con una barra de hierro, y se reúne en tres ó siete bolas el hierro que se reduce. Estas bolas se colocan bajo un martinete que pesa 500 ó 600 quilógramos y se baten. En otras ferrerías se hace esta primera depuración del hierro pasando las bolas entre cilindros acanalados que hacen salir las escorias que contienen. Las canales van disminuyendo en profundidad, y se pasa la bola por cada canal sucesivamente empezando por la mayor y acabando por la menor. Las bolas, así batidas, se vuelven á llevar á un horno de reverbero mayor que el primero; y cuando están rojas, se las pasa de nuevo entre los cilindros acanalados que les dan la forma de barras aplastadas.

Se cortan después en muchas barras ó varillas en un taller particular destinado á esta operación. Para hacerlo con más prontitud y economía, se enrojecen estas tiras y se las pasa primero entre los cilindros de un laminador, que las adelgaza y aplana; después se las hace volver á pasar entre otros cilindros armados de cuchillas que engranan unas en otras y que dividen la barra de hierro en tantas varillas como cuchillas hay en los cilindros.

El hierro se conoce en las artes bajo tres estados; en el de fundición que acabamos de describir; en el de hierro maleable y puro, y en el de *acero*. Este tercero

es, por decirlo así, intermediario entre el estado de fundición y el de hierro.

El acero es una combinación de hierro y de carbono; difiere, pues, de la fundición por la ausencia del oxígeno y del hierro, por la presencia del carbono. Así se puede transformar la fundición en acero, privándola del oxígeno que contiene, y reducir el hierro al estado de acero, combinándole con carbono. Resultan de estos principios dos métodos de fabricar el acero.

Por el primero se quita solamente el oxígeno á la fundición, y se obtiene lo que se llama *acero natural*.

Por el segundo se da carbono al hierro y se forma el acero llamado de *cementación*.

1. Los mejores minerales para hacer el *acero natural* ó de *fundición*, llamado también *acero de Alemania*, son el hierro oxidado hematite, y sobre todo el hierro espático. Se cree haber observado que la presencia del manganeso favorece la formación del acero. Los procedimientos para obtener el hierro en este estado difieren muy poco de los que se siguen para obtener el hierro puro: basta muchas veces comunicar menos aire y variar la inclinación de la tobera de los fuelles. La fundición que se usa debe ser gris; la blanca no le daría ó sería necesario reducir esta fundición que contiene poco carbono al estado de fundición gris aumentando en el horno la cantidad de carbono. La fundición demasiado negra daría acero malo y muy quebradizo, es pues preciso cuando se trata de semejante fundición, quitarla su exceso de carbono echando en el crisol hierro viejo. En la fabricación del hierro el viento de los fuelles cae sobre el baño de fundición y sirve en parte para quemar el carbono que contiene; en la del acero, el aire se dirige horizontalmente, de modo que no hay más carbono destruido que el quemado por el oxígeno de la fundición. También se tiene cuidado de dejar el baño de fundición cubierto por las escorias, que le protegen del contacto del aire y dejarle por mucho tiempo en reposo antes de reunir las moléculas metálicas que se separan. Por este medio queda siempre una gran cantidad de carbono combinado con el hierro, lo cual constituye el acero.

Cuando se hace el acero natural se sacan casi siempre de la forja hacia el fin de la operación una ó más bolas de hierro; pero este hierro es un poco duro y conviene para los instrumentos de labranza.

El acero natural tiene el defecto de ser rara vez homogéneo; contiene pajas y sobre todo partes que se aproximan más ó menos al estado de hierro. Se corrige en gran parte este defecto, reuniendo varias barras en paquetes; se sueldan y se forjan juntas por medio de una calda fuerte; y se saca de estas diferentes piezas una sola barra, que se dobla varias veces sobre sí misma soldándola y forjándola de nuevo. El acero que se obtiene por este medio es mucho más homogéneo y se usa principalmente para hacer hoces.

2. El objeto de la fabricación del acero de *cementación* es introducir en hierro hecho ya y de calidad conocida, una cantidad de carbono necesaria para reducirle al estado de acero. Para conseguir este objeto se ponen barras de hierro en cajas de tierra refractaria que están llenas de polvo de carbono de cemento, este es un polvo compuesto de materias propias para dar carbono por su descomposición. El todo está cubierto de una capa de arena húmeda y bien batida que impide al carbono arder. Estas cajas se exponen en un horno de reverbero de una estructura particular, á un calor muy fuerte y continuado por largo tiempo. Los poros del hierro se separan considerablemente y el carbono casi fundido por el calor se introduce en el hierro y le convierte en acero.

Las barras que salen de la caja de *cementación* tienen una superficie abultada; su testura es laminosa y hay necesidad de calentarle y forjarle de nuevo antes de introducirle en el comercio.

El hierro al pasar al estado de acero por cementación aumenta una centésima parte de volúmen y desde  $\frac{1}{135}$  á  $\frac{1}{140}$  en peso.

3. Se conoce en las artes una tercera clase de acero que se llama acero fundido. Efectivamente es acero, que ha sido realmente fundido al abrigo del contacto del aire; hay muchas maneras de hacerle. El método ordinario consiste en poner en un crisol recortaduras ó pedazos de acero natural y de acero de cementación. Se añade un fundente de que se ha hecho por mucho tiempo un misterio, pero que es simplemente un fundente vítreo que no debe contener arsénico ni plomo. Por este medio se funde el acero al abrigo del contacto del aire; se echa en rieleras, y se forja con precaución.

También se ha hecho acero fundido descomponiendo el ácido carbónico del carbonato de cal por medio del hierro. Se ponen en un crisol y capa por capa, pedazos pequeños de hierro, y una mezcla de carbonato de cal y de arcilla. Es preciso que haya bastante de estas dos tierras para que la superficie del hierro se halle enteramente cubierta por el vidrio después de la fusión. Se obtiene un acero fundido que se deja trabajar fácilmente en la forja. Se ha observado que si se deja el acero fundido demasiado tiempo bajo el vidrio en fusión, este acero se vuelve duro y difícil de forjar; se atribuye la fragilidad que adquiere á una combinación del vidrio con el acero.

Es sabido que la dureza unida á cierta tenacidad, son las cualidades que se buscan en el acero. El que sale del fuego no tiene todavía el grado de dureza de que es susceptible, y debe adquirirla por la operación que se llama el temple. El principio de esta operación tan singular como sencilla, es enfriar el acero de repente; cuanto más pronto y fuerte es el enfriamiento más dureza adquiere el acero. Así el temple en el mercurio frío, es el que da más dureza al acero; pero como entonces pierde casi toda su maleabilidad, apenas se hace uso de él. El temple ordinario se hace en el agua. Algunas veces se añaden diferentes ingredientes á este líquido; pero carecen de utilidad sino contribuyen á hacer el agua más fría.

El acero necesita tener diferentes grados de dureza según los usos á que se destina. Para dárselos con alguna exactitud se empieza por templarle muy duro; en seguida se le quitan los grados de dureza que tuviera de sobra recociéndole, es decir, calentándole de nuevo. Cuanto más se calienta, más dureza pierde; se juzga poco más ó menos de los grados de disminución de esta cualidad por los colores que adquiere en la recocción ó por la manera como se descomponen las grasas en que se calienta. Así suponiendo acero muy duro, el primer grado de recocción, el que es á propósito para navajas de afeitar, cortaplumas y cinceles, le da color de paja, y el sebo en que se calienta debe solamente humear. El segundo grado propio para cuchillos, tijeras, etc., le da un color pardo; el humo del sebo es más abundante y un poco colorado. En el tercer grado, que es el de los muelles de reloj, el acero se vuelve azul y el sebo está tan caliente, que se enciende al contacto de un cuerpo inflamado. El último grado de recocción es aquel en que el acero ha sido calentado hasta el punto de parecer de color rojo sombrío en la oscuridad; esta es la recocción que se da á los muelles de los carruajes.

Cuando se calienta el acero para templarle, se oxida algunas veces en su superficie, lo cual quita á la punta de ciertos instrumentos, tales como los cinceles, el grado de finura que necesitan. Para evitar este inconveniente es preciso calentar el acero al abrigo del contacto al aire; lo cual se consigue fácilmente teniéndole en plomo fundido y calentado hasta el rojo.

El hierro bueno tiene el grano homogéneo y poco

grueso; se deja forjar en caliente sin resquebrajarse y doblar en frío sin romperse. Por puro que parezca siempre contiene un poco de carbono y de oxígeno.

Las dos malas clases de hierro, son las que se llaman hierro quebradizo en caliente, y hierro quebradizo en frío.

El primero se llama también hierro de color. Tiene el defecto de romperse si se le forja cuando está solamente en el rojo cereza; pero se puede evitar este inconveniente que muchas veces le hace inútil, forjándole cuando está en el rojo blanco y cesando cuando se vuelve rojo pardo. Se cree que el hierro de esta mala calidad al arsénico ó otros metales que contiene más fusibles que él. Estos metales fundidos por el calor antes de que el hierro esté bastante blando para que sus moléculas puedan aproximarse por el forjado establecen en la masa del hierro soluciones de continuidad que le quitan su tenacidad.

El hierro quebradizo en frío tiene la testura de granos gruesos y brillantes. Debe el defecto, ó á un exceso de carbono y en este caso se le puede desembarazar de él por una nueva refinación, ó al fosforo de hierro. El hierro producido por los minerales llamados hierro limoso, está sujeto á este defecto. Se cree que el ácido fosfórico procede de los animales descompuestos, cuyos despojos contiene este mineral de hierro. Se puede mejorar este hierro por medio de la cal, ya sea añadiendo mayor cantidad de castina cuando se funde en el alto horno, ya añadiendo cal en la refinación misma; entonces se temple este hierro en cal desleída en agua, ó se le espolvorea con creta, teniendo cuidado de forjarle y batiarle muchas veces á un gran calor, y cuando está cubierto de este barniz calizo. El mismo resultado se obtiene echando en la refinación ó en las bolas que resultan un polvo compuesto de piedra caliza, de potasa, de sal marina y de alumbre.

El hierro tiene la propiedad de soldarse consigo mismo sin intermedio con solo darle un calor suficiente; pero cuando se trata de soldar objetos delicados que semejante calor desfiguraria, se usa el cobre como intermedio. En todos casos es útil cubrir las partes que se quieren soldar con una arcilla arenosa é infusible que defiende estas partes de la oxidación y que sea arrojada fácilmente en forma de escoria por la presión del martillo.

El acero se distingue del hierro por varios caracteres. Su grano es más fino y el buen acero debe tenerle muy homogéneo. Adquiere por el temple una gran dureza. El ácido nítrico dilatado en agua y vertido sobre él, le produce una mancha negra debida al carbon que se separa mientras que no produce mancha alguna en el hierro. Finalmente, el hierro colocado verticalmente adquiere en seguida polos magnéticos, mientras que el acero no presenta el mismo fenómeno si no está imantado. El mejor acero es el que reúne á una gran dureza bastante tenacidad para no quebrarse fácilmente. Las tres clases de acero de que se ha hablado, tienen cualidades diferentes.

El *acero natural* es menos homogéneo que los otros no es susceptible de tan buen pulimento, ni de tan grande dureza, pero se forja y se suelda fácilmente y tiene muy grande tenacidad.

El *acero de cementación* es más duro, más homogéneo y se suelda menos fácilmente; pero entra, sin embargo, en la composición de las mezclas de hierro y de acero que se llaman *soldaduras*. El objeto que se trata de conseguir soldando juntas algunas láminas de acero y varias de hierro, es obtener un todo que reúna á la tenacidad y á la flexibilidad del hierro, la dureza y elasticidad del acero. Así es como se hacen las hojas de espadas, de sables, floretes, cuchillos, etc.

Finalmente, el *acero fundido* que posee una gran homogeneidad y dureza, es susceptible de un puli-

mento muy brillante; pero se forja más difícilmente que los otros, y solo con gran dificultad se consigue soldarle consigo mismo ó con el hierro. Para remediar este inconveniente, Wilde coloca una lámina de hierro que ha recibido una calda fuerte en el centro del molde, echa en seguida el acero que cubre la lámina; el acero puede entonces ser forjado y recibir toda especie de formas.

Cuando el acero es demasiado duro para el uso á que se le destina, y cuando esta dureza no procede del temple, sino de la demasiada cantidad de carbono que contiene, se hace su superficie más blanda y por consiguiente más fácil de trabajar, cementándole con óxido rojo de hierro, ó con el óxido de manganeso que quema el exceso del carburo que contiene.

Reuniendo láminas delgadas de acero de diferentes cualidades, ó láminas de hierro y de acero, y soldándolas juntas con precaución, se obtienen *soldaduras* que presentan ondulaciones ó aun dibujos regulares. Para obtener estos últimos, se reúnen estas láminas siguiendo ciertas reglas, y se las hace en seguida experimentar una torsión, que se calcula, para producir las figuras que se quieren hacer. Se llaman vulgarmente *damasquinas* las hojas de sables que presentan estas clases de dibujos, porque este procedimiento ha estado en uso en Damasco antes del siglo XIV; se ha perdido después y ha sido transportado á Persia.

El hierro, la fundición, y el acero, tienen usos tan extensos y tan variados, que nos separaríamos mucho del objeto que nos hemos propuesto tratar, si quisiéramos, siquiera presentar un cuadro de ellos. Los pasaremos, pues, casi enteramente en silencio.

Aunque los minerales de hierro esten mucho más extendidos y sean mucho más abundantes que los de ningún otro metal, la dificultad que se encuentra en

tratarlos, el fuego violento que es preciso hacerles experimentar, la serie de operaciones difíciles á que es necesario someterlos para sacar de ellos hierro, han debido necesariamente retardar el conocimiento y uso de este metal. Así los monumentos y los libros más antiguos, tales como las *Obras de Homero*, el *Deuteronomio*, los *Mármoles de Oxford*, etc. concurren todos á probar que el cobre se ha usado mucho tiempo antes que el hierro. Se observa que la mayor parte de las armas verdaderamente antiguas, y que las inscripciones de las estatuas y de los edificios muy antiguos son casi siempre de cobre. Se cree que el hierro no ha empezado á estar en uso hasta cerca del año 1500 antes de Jesucristo. Muchas pueblos ignoran aun el arte de extraerle de sus minerales.

Los óxidos de hierro y las sales que tienen este metal por base, ofrecen á las artes de la pintura y de la tintorería, casi todos los colores primitivos, el negro, azul, verde, los diferentes amarillos, el rojo, rosa, etc. Estas mismas preparaciones dan también á la medicina remedios activos, que son generalmente astringentes ó tónicos.

En algunos países y notablemente en el departamento del Aisne, en Francia, se calcinan las tierras negras que contienen sulfuros de hierro, y se emplea la tierra rojiza que resulta, para abonar la prados artificiales.

En Suecia se amasan en forma de ladrillos las escorias de los altos hornos. Se recuecen estos ladrillos de vidrio, pero es preciso que las escorias sean compactas grises, de fractura laminar. Los minerales de hierro que se funden casi sin castina, son los que dan mejores ladrillos. Se vuelven tan refractarios que se pueden usar en la construcción de las camisas de los hornos.