



Resumen

Este artículo pretende explicar tres métodos tradicionales para elaborar acero persa al crisol, así como describir los recientes intentos de tres herreros alemanes para reproducir los resultados de la elaboración tradicional de este tipo de acero. El artículo explicará el proceso para elaborar acero al crisol, desde la fabricación de los bloques de acero y su forja en barras, al pulido y grabado de las mismas para revelar el patrón del acero al crisol. Primeramente se describen tres métodos tradicionales para elaborar acero al crisol que se mencionan en escritos persas. En segundo lugar, se detalla su elaboración a través de tres procesos modernos diferentes llevados a cabo por tres talentosos herreros alemanes, Achim Wirtz, Andreas Schweikert, y Cyrus Haghjoo. Finalmente, las ilustraciones muestran algunas hojas de acero al crisol terminadas fabricadas por Achim Wirtz y Andreas Schweikert, así como algunos cuchillos de acero al crisol creados por el talentoso cuchillero belga Salsi Alessio, elaborados con barras de acero al crisol facilitadas por Achim Wirtz.



REVIVIENDO EL ARTE ANCESTRAL DE ELABORAR ACERO PERSA AL CRISOL PARA ARMAS BLANCAS

MANOUCHEHR MOSHTAGH KHORASANI



ARRIBA:
UN CUCHILLO DE ACERO AL CRISOL REALIZADO
POR ANDREAS SCHWEIKERT.

IZQUIERDA:
ANDREAS SCHWEIKERT SE DISPONE A CUBRIR
EL ABRASADOR HORNO DE CARBÓN QUE UTILIZA
PARA HACER ACERO AL CRISOL.

*Todas las fotografías son cortesía de
M.M. Khorasani*

Introducción

Muchos artistas marciales aprecian la calidad de las espadas japonesas (*Nihonto*) forjadas al modo tradicional. Existen muchos tratados académicos sobre la forja y la clasificación de las espadas japonesas. La belleza y eficiencia de estas espadas son legendarias para muchas personas que incluso no están familiarizadas con las artes marciales ni con el coleccionismo de estas maravillosas obras de arte. Sin embargo, pocos son conscientes de que los herreros iraníes también tuvieron una larguísima tradición en la elaboración de espadas de muy alta calidad que también gozaron de un estatus legendario en su área de influencia.

Aunque los iraníes fabricaron su acero mayoritariamente como acero al crisol, también sabían producir acero con patrón por soldadura. Las hojas de acero al crisol persa combinan eficiencia y belleza, dando como resultado maravillosas obras de arte.

“Damasco”,
“al agua”
&
“crisol”

son términos que a menudo se utilizan de forma intercambiable para referirse al mismo tipo de acero.

Existen varios manuales persas antiguos que describen, con cierto grado de detalle, el proceso de fabricación de acero al crisol. En términos generales, mencionan la mezcla de diversos ingredientes con hierro y el calentamiento de la mezcla a fin de que ésta se derrita. Estos ingredientes contienen carbono, como es el caso de diferentes tipos de plantas y frutos (las bugallas), o contienen cal (carbonato de calcio), como la madreperla. Hay también otros ingredientes que proporcionan la carga de cal y carbono al crisol, como el hueso. Además, hay materiales, como el óxido de hierro, que hacen que los residuos sean poco densos y fluidos, a fin de que floten en lo alto del crisol en el horno de lupias. Un manuscrito también informa acerca del uso de una piedra/arcilla de color suave llamada *megnisiya*, famosa por su contenido en cristal. El cristal protege la masa derretida e impide la oxidación y la creación de burbujas. Algunos manuales también informan sobre el uso de diversos materiales orgánicos, como cuero e hígado de oveja. Ambos materiales tienen un obvio contenido de carbono. Los antiguos herreros sabían exactamente lo que hacían, aunque no tuviesen los métodos científicos que están disponibles para los investigadores y herreros de hoy en día. Los siglos de experiencia habían formado un cuerpo de conocimientos que fue utilizado con éxito por estos herreros para fabricar magníficas hojas de acero de Damasco.

Basándose en informaciones del s. XIX, algunos herreros alemanes han reproducido con éxito el arte de fabricar acero al crisol. Es necesario tomar en consideración el hecho de que las recetas para la elaboración del acero al crisol no se han perdido. Durante el transcurso de mis estudios he analizado muchos manuales, en persa, sobre cómo hacer acero al crisol. En este artículo, presentaré tres recetas, basadas en antiguos manuales, para hacer hojas de acero al crisol. Recientemente, he encontrado aún más recetas. Ésta es una excelente evolución en un momento en que los herreros de todo el mundo comienzan tanto a reproducir el acero al crisol como a forjar hojas a partir de las tortas resultantes de acero al crisol. En Alemania, Achim Wirtz, Andreas Schweikert, y Cyrus Haghjoo están tratando de reproducir el acero al crisol persa y de reproducir, específicamente, el mismo patrón de hojas de alta calidad. Los resultados logrados por estos herreros alemanes son excelentes, aunque aún queda camino antes de que lleguen a los maravillosos patrones de acero al crisol presentes en las auténticas hojas persas, especialmente aquellas del período Safavid (1502-1736).

Este artículo es el primero en describir el arte de fabricar acero al crisol, como indican Khayyam Neishaburi, Mobarak Shah Fakhr Modabbar, y Mohammad Taflisi. La siguiente parte del artículo presenta el proceso de réplica de acero al crisol desarrollado por los tres herreros alemanes Achim Wirtz, Andreas Schweikert, y Cyrus Haghjoo. También mostraré algún cuchillo con hoja de acero al crisol hecho por el cuchillero belga Salsi Alessio.

DE IZQUIERDA A DERECHA:
SALSI ALESSIO,
ANDREAS SCHWEIKERT,
ACHIM WIRTZ,
CYRUS HAGHJOO, Y
MANOUCHEHR MOSHTAGH
KHORASANI.



La fabricación de acero al crisol sobre la base de manuales antiguos

Diversos manuales antiguos en persa, como *La Carta de Nowruz* por Khayyam Neishaburi (2003/1382), *Las costumbres de la guerra y el valor* por Mobarak Shah Fakhr Modabbar (1967/1346), y *La Descripción de los oficios* (*Bayan al-Sana'at*) por Mohammad Taflisi, describen cómo se hacía tradicionalmente el acero al crisol. Para hacer

acero al crisol, Khayyam explica que se debería tomar una parte de *megnisiya* (la piedra de color suave utilizada por su contenido en cristales), una parte de coral, y una parte de óxido de hierro, partirlos en trozos, y luego moler y mezclar bien los ingredientes. Luego, continúa Khayyam, 12 *oghiye* (un *oghiye* son 59,38 gramos) de esta mezcla se añaden a un *man* (1091 gramos) de hierro dulce, y todos estos ingredientes son puestos en un crisol, calentándose bien éste.

Khayyam Neishaburi (2003/1382: 56) añade que una parte de ruda (*Ruta graveolens* L.), una parte del fruto del roble, una parte de roble, y una parte de concha o madreperla, y una cantidad igual de *cantharis vesicatoria* (cantárida o mosca de España) son añadidas al crisol. Todos los ingredientes son machacados en pedacitos. Khayyam Neishaburi manifiesta que dos *oghiye* de esta mezcla deberían ser añadidos a la carga del crisol hasta que todos ellos se conviertan en uno, refiriéndose a que el hierro absorba todos estos ingredientes. Obviamente, todos estos ingredientes contienen cantidades significativas de carbono, que son añadidas a la carga. Khayyam Neishaburi añade que, después de calentarlo, el crisol entero debería dejarse enfriar. Luego, cuando se hacen las hojas a partir de este crisol, éstas han de ser de alta calidad.

Existe también una breve descripción de la técnica para hacer una hoja de acero al agua en el escrito *Las costumbres de la guerra y el valor* de Mobarak Shah Fakhr Modabbar (1967/1346: 259). Los maestros forjadores toman dos lingotes, uno de hierro y otro de acero, calientan bien ambos, colocando uno a la izquierda y el otro a la derecha en el crisol de arcilla. El crisol entero está colocado en el horno durante un día y una noche hasta que ambos lingotes de hierro y acero se funden juntos. Los lingotes son retirados de la arcilla, forjados, moldeados, y engrasados, con productos químicos e ingredientes añadidos. El patrón de acero (*gohar*) se transformará en *zarif* (“suave, como la hoja del dátil”) y se vuelve muy afilado.

Otro manuscrito llamado *La Descripción de los oficios*, escrito en el s. XIII d.C. por Mohammad Taflisi, también aborda el tema del acero al crisol. Que yo sepa, el trabajo de Taflisi aún no ha sido introducido en Occidente hasta la fecha. Taflisi explica que para hacer acero, uno necesita calentar hierro dulce y luego añadir la piel agria de la granada y el *halilye zard* (las especias amarillas de *myrobalanorum quinque*: una fruta de India) y luego se obtendrá el acero. Taflisi también explica que para templar la hoja a fin de que sea muy afilada y pueda cortar cualquier cosa, uno necesita mezclar hiel de oveja con orina del asno, y templar la hoja en ese líquido (Tohidi, 1986/1364: 158).

Para carburizar el hierro en un mejor acero, Taflisi explica que uno necesita hacer una caja de hierro 25 milímetros más alta que el contenido. Luego, la caja necesita rellenarse con la piel de la granada, cuero, hueso, e hígado de oveja hasta 25 milímetros. Luego la carga será colocada dentro. En el siguiente paso, la caja de hierro se llenará de carbón vegetal, y luego la tapa de la caja de hierro se coloca encima y se sella con arcilla. Taflisi explica que la caja será metida en un horno y calentada durante cuatro horas. Después de esto la carga se saca, enfría en aceite, y se limpia. De esta manera uno obtendrá acero (Tohidi, 1986/1364: 158). Taflisi también describe cómo endurecer una hoja de diferentes maneras. Entre ellas, Taflisi diferencia entre los siguientes métodos de endurecimiento (Tohidi, 1986/1364: 158):

- a) un método de endurecimiento que hace una espada de color rojo, amarillo o verde.
- b) un método de endurecimiento que hace que una espada cause [heridas que terminen en] gangrena
- c) un método de endurecimiento que hace que la hoja de un cuchillo se magnetice.
- d) métodos de endurecimiento para puntas de lanza, de flecha, y hachas, y
- e) métodos de endurecimiento para que una hoja no se oxide.

Reviviendo el arte de fabricar acero al crisol

Achim Wirtz es un talentoso y conocido herrero alemán con considerable experiencia en fabricar tanto acero al crisol como acero de patrón por soldadura. Él está dispuesto a compartir los detalles de su proceso con otros investigadores y herreros. Achim Wirtz también ha publicado un artículo, en alemán, en relación a la forma de hacer acero al crisol. Desde el punto de vista de un investigador, me gustaría darle al Sr. Wirtz las gracias por su voluntad de compartir el proceso en detalle. Este espíritu de cooperación seguramente llevará a la ciencia de hacer acero al crisol a niveles aún más altos. Andreas Schweikert es también un herrero alemán experimentado y afamado, con años de experiencia de investigación en la confección de aceros de patrón por soldadura y al crisol. También me gustaría agradecer al Sr. Schweikert por compartir ampliamente su proceso con investigadores y herreros. Cyrus Haghjoo aprendió a hacer acero al crisol de Achim Wirtz y Andreas Schweikert, y es relativamente novel fabricando acero al crisol. Bajo la supervisión de Achim Wirtz y Andreas Schweikert, Haghjoo ha logrado hacer tortas de acero al crisol y forjar las tortas en barras. Los resultados del Sr. Haghjoo son bastante buenos. En el pasado, las tortas del crisol fabricadas en la India u otros lugares fueron ampliamente comercializadas. Los herreros de otros países compraban estas tortas y hacían armas y armaduras con ellas. Siguiendo la misma tradición, tanto Achim Wirtz como Andreas Schweikert proveen a otros herreros con suministros de acero al crisol. Achim Wirtz provee a Salsi Alessio, un cuchillero belga, con barras de acero al crisol. El Sr. Alessio elabora cuchillos maravillosos con estas barras de acero al crisol, como se muestra en este artículo.

EL PROCESO DE ACHIM WIRTZ

Fabricando acero al crisol

Según Wirtz (2007: 56), en contraste con la era tradicional, diferentes materiales pueden servir para hacer acero al crisol. Wirtz diferencia entre a) un método controlado científicamente y b) un método históricamente correcto. En el método científicamente controlado, Wirtz usa tanto hierro puro y fundido como hierro puro, grafito, y una aleación maestra (75% de vanadio + 25% de hierro). El método históricamente correcto se hace con lupias de hierro calentadas con carbón vegetal. Wirtz explica que la meta es crear una mezcla en un crisol que, después de fundirse, tenga una cantidad elevada de carbono en el acero, en particular con un contenido en carbono de 1'2 a 2% y una cantidad muy pequeña (0'05 por ciento) de un constructor de carburo (en la mayoría de casos de vanadio). Las tortas/cargas del crisol hechas por Wirtz pesaban entre 1 y 10 kilogramos. Wirtz (2007: 56) hace énfasis en que es difícil controlar el proceso de cualquier carga mayor de 10 kilos. Para el proceso de fundido, Wirtz (2007: 57) utiliza los crisoles hechos de arcilla, crisoles hechos de óxido de aluminio o crisoles hechos de grafito. Wirtz explica que los crisoles de grafito tienen el nivel más alto de resistencia frente al choque térmico en los hornos modernos; sin embargo, uno debe tomar en consideración que los crisoles hechos de grafito, especial-



ARRIBA: ACHIM WIRTZ
DELANTE DE SU HORNO.

DERECHA: TROZOS DE LUPIAS
DE HIERRO USADOS PARA
LA CARGA DEL CRISOL Y
PARTES QUEBRADAS DE LUPIAS
DE HIERRO COLOCADAS
EN EL CRISOL.



mente los nuevos, añaden una cantidad considerable de carbono al crisol, y este factor ha de ser tomado en consideración al usar crisoles de grafito.

Para elaborar acero al crisol, Wirtz (2007: 57) explica que pueden utilizarse diferentes tipos de hornos eléctricos modernos (horno de inducción, horno Tamman: un tipo de horno de conducción), las cocinas de gas propano, y fuegos de carbón mineral o vegetal con sopladores. Generalmente, Wirtz usa un quemador de gas de propano con un quemador Venturi o un horno de fundición eléctrico conductivo. Junto al metal, Wirtz añade cristal molido a fin de que más tarde pueda cubrir la masa derretida e impedir la oxidación y la aparición de burbujas. Wirtz (2007: 57) explica que usando una cocina de gas y una carga de crisol de 1,5 kilogramos, el proceso de fundido lleva 90 minutos. Luego, el horno se apagará lentamente a fin de que la solidificación de la carga del crisol dure dos horas. Después de la solidificación, el crisol se rompe y se saca la torta de acero. Uno puede ver claramente dendritas en la superficie de la torta de acero. Wirtz (2007: 57) explica que las dendritas son cristales de austenita que se han construido después de la solidificación del material. Si uno corta la torta de acero y se graba la superficie al aguafuerte, se verán inmediatamente con claridad las estructuras de dendritas que están orientadas en todas direcciones. Dependiendo de la velocidad de enfriamiento, los cristales pueden llegar a tener hasta 20 milímetros de tamaño. Por consiguiente, son apreciables a simple vista. El siguiente paso es la difusión por calentamiento. Después de que la torta de acero se enfríe, Wirtz (2007: 57) la introduce en un horno eléctrico de gas o en la fragua, en una atmósfera oxidante durante un período de entre 45 minutos y ocho horas. La difusión por calentamiento se hace de 1100 a 1150 grados celsius. Luego la torta de acero se enfriará a temperatura ambiente.



EL HORNO DE GAS DE WIRTZ, ABIERTO Y EN FUNCIONAMIENTO.



IZQUIERDA:
ACHIM WIRTZ RETIRA
EL CRISOL DESPUÉS DEL
PROCESO DE ENFRIAMIENTO.



DERECHA:
INTERIOR DEL CRISOL
DESPUÉS DE ABRIR LA TAPA.



IZQUIERDA:
LA TORTA DE ACERO
DENTRO DEL CRISOL.

DERECHA:
WIRTZ SUJETA CON SU
MANO LA TORTA DE
ACERO SOLIDIFICADA.





El proceso de forja

Wirtz (2007: 57) hace énfasis en que el acero no muestre estructuras cristalinas después del proceso citado anteriormente. La torta de acero calentada entonces será trabajada en un tratamiento térmico y de forja combinado. Wirtz calienta el material hasta 900°C y luego lo deja enfriar a 700. Después, calienta el material de nuevo a 900°C. Wirtz describe este proceso como una serie de ciclos de calor, y repite este proceso sin ninguna intervención mecánica hasta 20 veces. En el siguiente paso, comienza a forjar la torta de acero en las fases de enfriamiento de 900° a 700°C. Repite este proceso termo mecánico hasta los 200 ciclos de forja.

Después de este proceso, el material puede ser forjado de cualquier forma. Uno debería tener en cuenta que dependiendo de la duración de la difusión por calentamiento, siempre existe un estrato descarburizado que necesita pulirse. Las barras completas de acero que son el resultado final del proceso de forja han de ser normalizadas. Para hacer esto, Wirtz (2007: 57) las calienta hasta los 830°C y las deja enfriar a temperatura ambiente sin intervención mecánica. En la siguiente etapa, las barras de acero son objeto de un suave calentamiento (calentamiento spherodize) que incluye tanto el calentar las barras de acero alrededor de los 720°C, mantenerlas a esta temperatura durante un tiempo breve, y luego dejarlas enfriar muy lentamente.

Después de un fuerte raspado y pulido, la hoja está lista para el proceso de endurecimiento. Wirtz (2007: 57) calienta la hoja hasta los 800°C y después de alcanzar esta temperatura la hoja es inmediatamente enfriada en aceite templado. Luego, Wirtz deja que la hoja se enfríe a temperatura ambiente. El siguiente paso consiste en exponer a la hoja a 200°C en un horno durante dos horas.

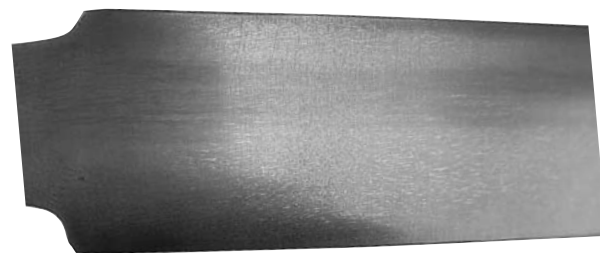
El pulido y el grabado al aguafuerte

Wirtz (2007: 58) normalmente pule la hoja hasta 1.000 gránulos/granos, o incluso hasta los 2.000. Después de esto la hoja es desengrasada a fondo y después grabada al aguafuerte. Para grabar la hoja al aguafuerte, Wirtz utiliza “Nital al 3 por ciento”. Wirtz explica que ésta es una solución al 3% de ácido nítrico en alcohol metílico o etílico. Wirtz pone énfasis en que al usar Nital, uno puede alcanzar resultados excelentes de grabado al aguafuerte después de 30 a 120 segundos de duración del grabado. En el siguiente paso, Wirtz neutraliza la hoja en la solución de hidróxido sódico, la seca, y luego aplica aceite a la hoja. Este proceso es importante, puesto que de otra manera aparecerá óxido inmediatamente en la superficie de la hoja.

Wirtz (2007: 58) también utiliza otro método para grabar al aguafuerte las hojas de acero al crisol. Él graba al aguafuerte la hoja durante 60 segundos en una solución de cloruro férrico al 25% (FeCl_3) por tres veces. Entre un proceso de grabado y otro, Wirtz pule la hoja con un lienzo de pulir con un grano muy fino de 8.000. Finalmente, pule la hoja, la desengrasa a fondo y la graba al aguafuerte durante cinco o diez segundos y luego la neutraliza lavándola bajo un grifo. Luego enjuaga la hoja a fondo con agua y detergente, y engrasa la hoja con aceite Ballistol. Wirtz aclara que el aceite Ballistol neutralizará cualquier huella final de cloruro férrico en la hoja.

IZQUIERDA: UNA HOJA DEL SHAMSHIR
ELABORADA POR ACHIM WIRTZ.
REPARE EN QUE SÓLO EL ÁREA CERCA
DE LA ESPIGA ESTÁ GRABADA AL
AGUAFUERTE.

DERECHA: PRIMER PLANO DEL PATRÓN
SHAMSHIR HECHO POR WIRTZ.





PAR IZQUIERDO:
PRIMER PLANO DE UN
CUCHILLO DE ACERO AL
CRISOL ELABORADO POR
ACHIM WIRTZ.

PAR DERECHO:
PRIMER PLANO DE UNA
DAGA DE ACERO AL CRISOL,
ELABORADA TAMBIÉN POR
WIRTZ.

El vanadio y las dendritas

Wirtz (2007: 58) explica que, basándose en los materiales utilizados, el acero confeccionado debería contener una pequeña cantidad de vanadio que variará entre el 0,005 y el 0,05%. El vanadio está completamente en la forma de carburos de vanadio. El extremadamente lento enfriamiento de la masa derretida durante la etapa de solidificación crea dendritas muy grandes. Durante la etapa de enfriamiento, los carburos de vanadio tienen tendencia a colocarse en la parte frontal de la solidificación. Esto quiere decir que al final de la etapa de solidificación, los carburos de vanadio permanecen en las áreas intermedias entre las dendritas paralelas al eje de las áreas primarias, secundarias, y terciarias con pequeñas dendritas adicionales en concentraciones decrecientes diferentes (Wirtz, 2007: 59).

Durante la larga difusión por calentamiento a temperatura superior, las estructuras dendríticas desaparecen y el acero casi se homogeneiza. Al mismo tiempo las segregaciones más débiles de carburos de vanadio, que han sido creadas a lo largo de las áreas secundarias y terciarias con pequeñas cantidades de dendritas, desaparecen. Las segregaciones más fuertes de las áreas primarias permanecen. Simultáneamente, se crea un estrato exterior descarburizado alrededor de la torta de acero debido a la atmósfera oxidante. Esto ayuda a proteger el quebradizo interior de grietas durante los procesos de forja a bajas temperaturas. Según Wirtz (2007: 59), se trata de un paso importante al hacer acero al crisol. El estrato descarburizado es sumamente importante para trabajar el acero así como para la creación del patrón típico del acero al crisol. En opinión de Wirtz, este paso puede ser directa o indirectamente hallado en textos históricos. Wirtz añade que este paso ha estado, sin embargo, dejado de lado hasta el momento en los intentos para hacer acero al crisol.

Durante los posteriores ciclos de calentamiento, que siempre tienen lugar a temperatura baja de austenización, al aumentar la temperatura, una parte de los carburos férricos existentes se disuelven y al disminuir la temperatura los carburos férricos se unen de nuevo. La unión es el resultado de un efecto atractivo de segregaciones de carburo de vanadio que, después de 20 ciclos, comienzan a construir cadenas visibles que más adelante se convierten en franjas o patrones de red.

EL PROCESO DE ANDREAS SCHWEIKERT

Fabricando acero al crisol

Para la confección del acero al crisol, Schweikert utiliza el mineral regional (FeO alrededor del 60%, SiO 20%, AL2O3 10%, un poco de Ti, Cr, V, y Zr) de Swabian Alb (una meseta en Baden-Württemberg, Alemania), y un horno de fundición alimentado con carbón vegetal de madera de haya hecho por él mismo. Schweikert usa un modelo de horno que fue utilizado como un horno experimental en una fábrica de acero del sur de Alemania en 1840 y, según Schweikert, muy apropiado para la confección de acero al crisol. Schweikert hace énfasis en que, sin embargo, cualquier otro horno de cerámica de carga superior bien aislado puede ser utilizado con este propósito. El crisol usado es un crisol de arcilla de Hesia que puede trabajar bien a altas temperaturas y que se asemeja a los crisoles originales. Schweikert destaca que para la carga del crisol utiliza lupias de hierro, hierro fundido, cal, y vidrio (obtenido de una botella de vino).

La reconstrucción de un horno de lupias proporciona a Schweikert lupias de hierro y hierro fundido. Schweikert explica que sólo necesita usar su horno según el caso para obtener diferentes calidades. El horno es una reproducción de un horno de lupias medieval que fue excavado en la ciudad natal de Schweikert. Él machaca piedra caliza para obtener polvo de cal. Uno puede usar vidrio industrial o puede añadir los ingredientes del vidrio (arena, el bórax, y cal) en el crisol que más tarde se fundirá con la carga del crisol.

Schweikert luego llena el crisol de hierro, hierro fundido, y cal (extraída de Swabian Alb). Schweikert explica que la relación entre el hierro y el hierro fundido es la responsable del nivel de contenido en carbono del acero al crisol obtenido al final del proceso. La cantidad de carbono depende completamente del mineral usado y de la carburación en el horno de lupias. Según Schweikert, éste es un proceso de ensayo y error. Según comenta, la cal es necesaria para que la escoria sea fina y fluida en el horno de lupias, a fin de que ésta flote en la parte superior. Sobre la carga del crisol, Schweikert pone vidrio y luego sella el crisol con una tapa y arcilla. Dependiendo del tamaño del crisol, se pueden colocar entre 0,5 y 2 kilos de carga en su interior.

Schweikert coloca el crisol de 180 mm. de altura en la mitad del horno en un pequeño pedestal y luego coloca un fuego suave alrededor de él, que es avivado con un poco de aire. Gradualmente, llena el horno de carbón vegetal hasta que el crisol no puede verse y está completamente cubierto de carbón vegetal. Durante un período de 1,5 horas, Schweikert aumenta la cantidad de suministro de aire y por tanto eleva la temperatura del crisol a 1.500°C. Luego trata de conservar esta temperatura durante las siguientes 1,5 horas. El carbón vegetal se agrega continuamente durante este tiempo. Para suministrar aire, Schweikert usa un fuelle eléctrico. No obstante, también usó fuelles con la ayuda de sus amigos, una situación en la que uno se encarga del suministro de aire, otro se encarga del carbón vegetal y el otro de las bebidas.



ARRIBA: SCHWEIKERT PRUEBA LAS PEQUEÑAS PARTES DE LUPIAS DE HIERRO DELANTE DE SU HORNO DE CARBÓN. SE MUESTRA UN CRISOL USADO. LAS CONCHAS PUEDEN SER UTILIZADAS EN EL CRISOL. DERECHA: UNA VISTA INTERIOR DEL HORNO DE CARBÓN DE SCHWEIKERT. SELLA EL CRISOL CON ARCILLA CUANDO ESTÁ LLENO.



Cuando Schweikert tiene la seguridad de que se ha alcanzado el momento fundente, disminuye la cantidad de suministro de aire lentamente y después de una hora lo corta. Luego el horno arde por sí mismo y después de cinco horas puede sacarse el crisol junto con la torta de acero. Si todo va bien, en el crisol hay una torta de acero cubierta con vidrio y escoria. Si la escoria está dura, lo cual depende del mineral, el acero al crisol no se ha derretido bien, y es necesario otro proceso de fundido. En este caso, la torta de acero se rompe y la chatarra se separa del acero y luego el acero es mezclado con cal y vidrio, y el proceso de fundido se repite de nuevo. Después de que la torta de acero está preparada, comienza un lento proceso de calentamiento y forja.



ARRIBA: 1) UN CRISOL LLENO SELLADO CON ARCILLA. 2) SCHWEIKERT HACE TROZOS EL CARBÓN VEGETAL ANTES DE COLOCARLO EN EL HORNO. 3) EL HORNO DE CARBÓN DE SCHWEIKERT EN USO. 4) SCHWEIKERT QUITA EL CRISOL DESPUÉS DEL PERÍODO DE ENFRÍAMIENTO.

5) SCHWEIKERT RETIRA EL CRISOL PARA QUITAR LA TORTA DE ACERO.



CUCHILLOS DE ACERO AL CRISOL REALIZADOS POR ANDREAS SCHWEIKERT.

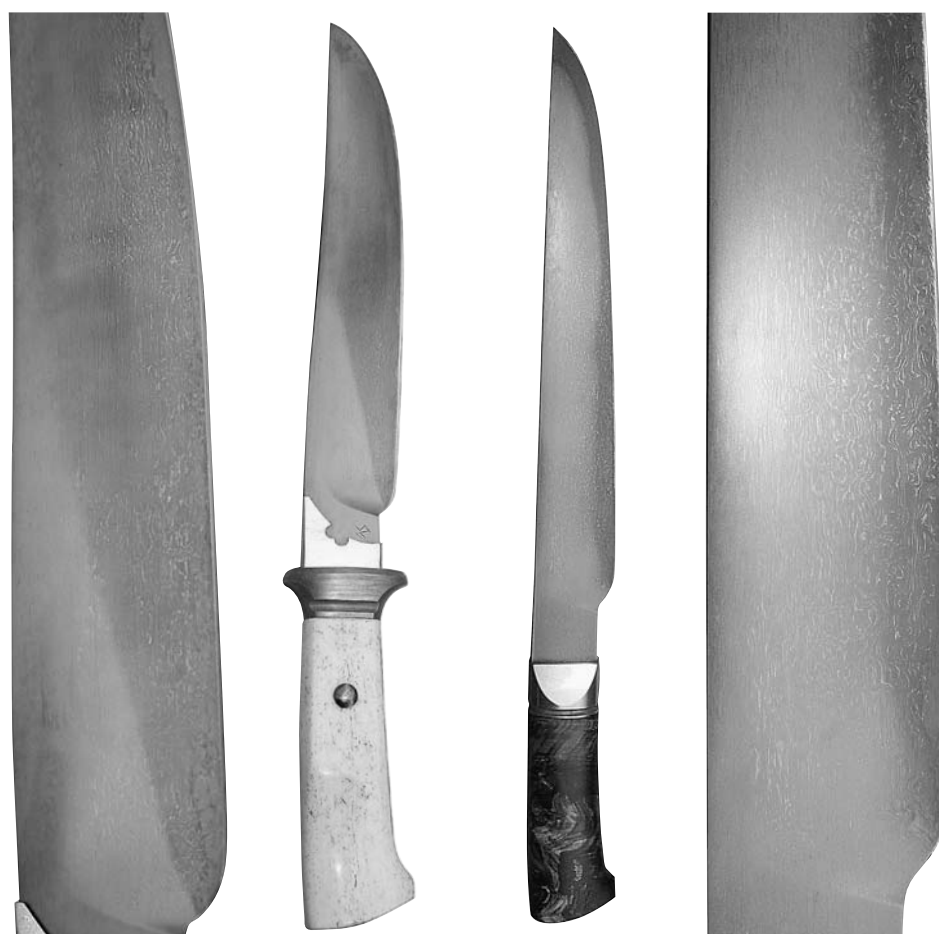
El proceso de forja

Schweikert calienta la torta de acero al crisol en el horno a 1.150°C alrededor de 3 horas. Manifiesta que, a través del aire del ambiente circundante, la superficie de la torta de acero al crisol pierde contenido en carbono. Esto crea una superficie suave y al mismo tiempo fuerte que protege a la torta de acero durante el posterior proceso de forja y evita que se raje.

Para hacer más fácil el trabajo con el martillo neumático, Schweikert suelda una agarradera a la torta de acero al crisol. En la siguiente etapa, Schweikert calienta la torta de acero hasta los 930°C y la enfría hasta los 700°C. Repite este proceso 30 veces, y luego comienza con el proceso de forja. Schweikert hace énfasis en que él inicia el primer martilleo muy cuidadosamente e incrementa gradualmente la fuerza. El proceso de forja necesita alrededor de 50 a 100 secuencias. Entre fases, Schweikert a veces raspa la superficie cuando muestra pequeñas inclusiones. Cuanto más plana sea la superficie de la barra de acero, más fuerte golpea Schweikert la superficie. La dirección de forja de la torta de acero al crisol depende de su tamaño y forma. Cuando la barra de acero alcanza un perfil de 30 x 10 mm., el acero al crisol puede ser forjado como cualquier otro tipo de acero. Schweikert raspa la superficie descarburizada de la barra de acero y luego forja la forma de la hoja.

El pulido y el grabado al aguafuerte

Schweikert pule la hoja con un grano de 600, desengrasa la hoja con alcohol, y luego graba al aguafuerte la hoja con ácido sulfúrico diluido (al 30%) o con cloruro férrico entre 30 y 300 segundos. Luego enjuaga la hoja con detergente y agua y la engrasa con un aceite libre de resina.



PAR IZQUIERDO: UN
CUCHILLO DE ACERO AL
CRISOL (KARD) HECHO POR
ANDREAS SCHWEIKERT CON
UN PRIMER PLANO.

PAR DERECHO: UN CUCHILLO
DE ACERO AL CRISOL (KARD)
HECHO POR ANDREAS
SCHWEIKERT CON UN PRIMER
PLANO.

EL PROCESO DE CYRUS HAGHJOO

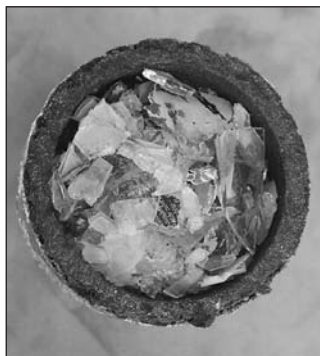
Fabricando acero al crisol

Haghjoo mezcla polvo puro de hierro o hierro puro en barras, que puede ser obtenido de la Compañía Kremer Pigmente o Armco, con grafito. La razón para añadirle el grafito al hierro puro es añadir carbono, a fin de que Haghjoo pueda obtener un acero con un 1,5 % de carbono. Coloca 1.400 gramos de la mezcla en el crisol (en una proporción de 15 gramos de grafito para 1.000 gramos de hierro). Adicionalmente, para obtener un bello patrón de dendritas en el patrón de acero al crisol, Haghjoo añade 0,2 gramos de vanadio a la mezcla anteriormente citada. Haghjoo mezcla a fondo la carga completa y la coloca dentro de un crisol de grafito. Al usar un crisol de grafito, uno debería reparar en que el carbono del crisol de grafito migrará a la carga, y por eso Haghjoo sugiere utilizar un poco menos de grafito en la mezcla. No obstante, Haghjoo hace énfasis en que él queda satisfecho cuando la carga de su crisol tiene un contenido en carbono de entre el 1,3 y el 1.8%.

Después de añadir la mezcla al crisol, Haghjoo coloca vidrio en la parte superior de la mezcla. La razón para añadirle el vidrio a la mezcla es que el vidrio se derretirá rápidamente para proteger el acero del oxígeno a fin de que el oxígeno no queme el acero. Luego, Haghjoo pone una tapa al crisol y la sella con arcilla. Haghjoo usa tanto una cocina de gas como un horno de carbón para calentar la carga del crisol (durante la reunión del 21 de julio, 2007, Haghjoo usó una cocina de gas para calentar el crisol), Haghjoo calienta la carga del crisol a una temperatura superior a los 1.550°C y calienta la carga del crisol durante 2 horas. En el siguiente paso, Haghjoo reduce la temperatura muy lentamente para obtener unas dendritas grandes y bonitas. Durante este proceso, la carga del crisol se enfría y cambia del estado líquido al estado sólido y se crean muchas estructuras de dendritas. En la siguiente etapa, Haghjoo calienta la carga del crisol a 1.130°C durante dos horas. Según Haghjoo, este proceso es llamado difusión por calentamiento.

Aunque a través de la difusión por calentamiento las estructuras de dendritas en la superficie de la carga del crisol se destruyen completamente, el propósito de la difusión por calentamiento es obtener una capa superficial descarburizada. La capa superficial descarburizada se compone de hierro y es elástica; y así protege el acero interior durante el proceso de forja. Quiere decir que la capa superficial mantiene unido el acero durante el proceso de forja. Después de la difusión por calentamiento, Haghjoo usa el calentamiento por intervalos. En el calentamiento por intervalos, Haghjoo calienta el acero a 900°C y luego quita la carga del fuego y la enfría a 700°C. Repite este proceso hasta 25 veces.

DE IZQUIERDA A DERECHA: UN CRISOL LLENO, CON VIDRIO EN LA PARTE SUPERIOR. EL HORNO DE GAS USADO POR HAGHJOO CON UN CRISOL LLENO COLOCADO EN SU INTERIOR. EL HORNO DE GAS DE HAGHJOO FUNCIONANDO.



HAGHJOO PREPARA POLVO DE HIERRO PARA LA CARGA DEL CRISOL.

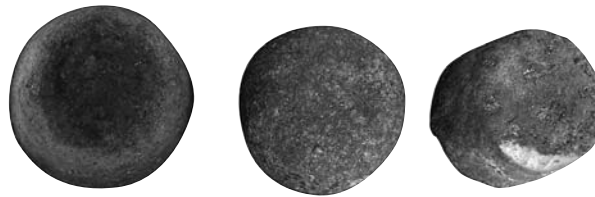
El proceso de forja y grabado al aguafuerte

El siguiente paso comprende el proceso de forja. Según Haghjoo, el calor de la forja se parece al calentamiento por intervalos. Si hay mucho calor, el acero se destruye. Haghjoo martillea la carga del crisol golpeándolo “con tacto” cinco veces en cada lado durante el primer par de pasos. Los golpes demasiado poderosos descompondrán o romperán la carga del crisol, ya que los cristales de acero se sitúan en todas direcciones y por tanto crean fuertes tensiones interiores en el material. Haghjoo explica que él necesita de 150 a 200 calentamientos de forja para finalizar el proceso. Muchos ciclos de calor conducen a la creación de una red de carburos en el acero que llevan tres días completos de proceso de forja. Estos carburos, siendo las impresiones negativas de las anteriores dendritas, conforman la estructura típica del patrón de acero al crisol. Después de que la hoja es forjada, Haghjoo pule la hoja y luego la graba al aguafuerte. Haghjoo no utiliza el método tradicional para el grabado al aguafuerte. Él usa HNO_3 diluido con etanol, o FeCl_3 diluido con etanol o jugo de limón.

LAS TORTAS DE ACERO EN LOS
TRES PROCESOS.



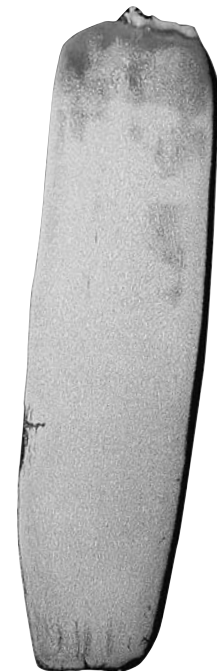
EL OTRO LADO DE LAS TOR-
TAS AL CRISOL.



LAS TORTAS DE ACERO AL
CRISOL VISTAS DE LADO.



UNA BARRA FORJADA DE
ACERO AL CRISOL.



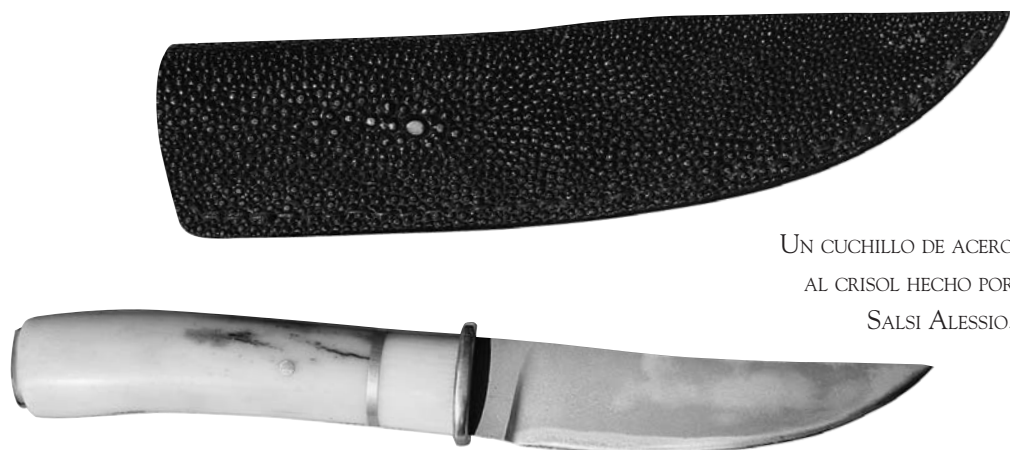
EL CUCHILLERO SALSI ALESSIO

Salsi Alessio raspa y pule las barras de acero al crisol proporcionadas por Achim Wirtz en la forma que desea. Después de esto, graba al aguafuerte la hoja y monta la empuñadura.

IZQUIERDA: SALSI ALESSIO
MOSTRANDO SUS CUCHILLOS.



PRIMER PLANO DE UN CUCHILLO
DE ACERO AL CRISOL HECHO POR
SALSI ALESSIO.



UN CUCHILLO DE ACERO
AL CRISOL HECHO POR
SALSI ALESSIO.

Conclusión

Este artículo ha mostrado que todavía existen muchos manuales antiguos que describen cómo se hacía acero al crisol. Los manuales describen la adición de diversos materiales que contienen carbono, cal, y vidrio al hierro antes de calentar la carga durante un tiempo. Tres herreros alemanes han reproducido y ayudado recientemente a recuperar el proceso de fabricar acero al crisol. Cada uno utiliza su método. Los resultados son realmente impresionantes, pero necesita trabajarse más en este campo a fin de que puedan copiarse los patrones encontrados en las hojas más finas del período Safavid (1502-1736). Como muestra este artículo, el mundo de la confección del acero al crisol es tan intrigante y fascinante como el fabricar una espada japonesa de manera tradicional. Existen muchos manuales antiguos en relación a la forma de hacer acero al crisol y sobre la clasificación de espadas en Persia que necesitan ser expuestos fuera de Irán. Ambas escuelas japonesas y persas de forja de espadas muestran el elevado desarrollo de habilidades metalúrgicas, combinando eficiencia y belleza en una hoja que no es sólo una herramienta eficiente, sino una obra de arte.



BIBLIOGRAFÍA

- Khayyam Neishaburi, Omar Ibn Ibrahim (2003/1382). *Nowruzname [La carta de Nowruz]*. Comentario de Ali Hosuri. Tehran: Cheshme.
- Mobarak Shah Fakhr Modabbar, Mohammad ibn Mansur ibn Said (1967/1346). *Adab al-harb va al-shojae [Las costumbres de la guerra y el valor]*. Comentado y editado por Ahmad Soheili Khansari. Tehran: Eqbal.
- Moshtagh Khorasani, M. (2006). *Arms and armor from Iran: The bronze age to the end of the Qajar period*. Tübingen: Legat Verlag.
- Tohidi, N. (1986/1364). *Seyr Takamoliye Tolid Ahan va Fulad dar Iran va Jahan [El desarrollo de la producción de hierro y acero en Irán y en el mundo]*. Tehran: Chapkhaneye Sepehr.
- Wirtz, A. (2007). *Öfen und Werkzeuge Machen den Unterschied*. *Hepaisthos*, 7/8: 56-59.

GLOSARIO

āhan-ē narm	آهن نرم
balūt	بلوط
basd or basad	بسد
bote	بوته
charm	چرم
dārū	دارو
gel-ē ros	گل رس
gohar	گوهر
halilyē zard	هلیله زرد
harmal	حرمل
jegar-ē gūsfand	چگر گوسفند
khafchē	خفچه
komiz-ē khar	کمیز خر
māzū	مازو
megnisiyā	مغنسیا
nār-ē torsh	نار ترش
narm āhan	نرم آهن
oghiyē	اوقیه
ostekhān	استخوان
pūst-ē anār	پوست انار
sadaf	صدف
zahreye gūsfand	زهره گوسفند
zangār	زنگار
zarārih	زارریح
zarif	ظریف
zoghāl	زغال