پولادهای دمشقی

الگ د. شربای
جفری وادزورث

پولادهای دمشقی بیشتر از جدیدترین پولادهای امروزی کربن داشته‌اند. این خاصیت همراه با آهنگری ماهرانه دلیل شهرت استحکام، چقرمگی و نقوش زیبای شمشیرهای دمشقی است.

سر والتر اسکات در داستان طلسم که شرحی تخیلی از ماجراهای جنگهای صلیبی در فلسطین است اشاره‌ای دارد به صحنه‌ای از ملاقات ریچارد شیردل و سلطان صلاح‌الدین. آمده است که در این ملاقات دو حریف دربارهٔ محسنات شمشیرهای خود به رجزخوانی پرداختند. ریچارد برای نشان دادن استحکام شمشیر سنگین و راست تیغهٔ دودم خود قطعهٔ پولادی را به‌دو نیم کرد. درمقابل صلاح‌الدین یک بالش ابریشمی را دردست گرفت و «شمشیر نیمگرد [خود] را... به‌آهستگی بسیار به آن کشید. بالش بدون آنکه دریده شود، به دو نیم شد.» اروپاییان با چشمان شگفت‌زده آن را نوعی حیله پنداشتند، لیکن صلاح‌الدین با بریدن یک قطعه تور پارچه‌ای نرم درهوا نشان داد که کار او حیله نیست. به طوری که اسکات شرح می‌دهد سلاح فوق‌العاده تیز و سبک اعراب «تیغه‌ای باریک و خمیده داشته که مانند شمشیر فرنگیان براق نبوده، بلکه به عکس رنگ آبی تیره داشته وبا ده میلیون خط پیچ و خم‌دار مشخص می‌شده است.»

البته این توصیف شاعرانه است (مثلاً شمشیر صلاح‌الدین نمی‌توانسته شمشیری نیمگرد باشد زیرا تا چند صد سال پس از برخورد صلاح‌الدین با ریچارد که در سال ۱۱۹۲ میلادی صورت گرفته‌است، هنوز تیغه‌های خمیده ساخته نشده بود). باوجود این، این توصیف دراصل تصویری دقیق از نوعی تیغهٔ شمشیر است که درعصر صلاح‌الدین دربلاد اسلامی به‌کارمی‌رفته است. این تیغه‌ها ازنظر به‌هم‌فشردگی استحکامی فوق‌العاده داشته‌اند ـ یعنی آن سختی کافی را داشته‌اند تا یک لبهٔ تیز برنده داشته باشند ـ و درعین حال چنان مقاوم بوده‌اند که به هنگام جنگ، ضربات حریف را بدون شکسته شدن تحمل می‌کرده‌اند. محسنات مکانیکی و نقوش موجدار سطح این تیغه‌ها به‌ماده‌ای که بر روی آن آهنکاری صورت می گرفته، یعنی به پولاد دمشقی مربوط بوده است. در زمان جنگهای صلیبی افسانه‌های بسیار دربارهٔ شمشیر و سلاحهای دمشق گفته می‌شد و قرنها پس‌ازآن آهنگران اروپایی که بیهوده می کوشیدندشمشیرهایی با مشخصات و الگوهای سطح شمشیرهای دمشقی بسازند دربارهٔ عقیم‌بودن کارخود ومحسنات آن شمشیرها داستان‌پردازی‌می کردند.

کشف راز شمشیرهای دمشق تلاش دامنه‌داری بود که توجه دانشمندان اروپایی را نیز جلب کرد. از جملهٔ این دانشمندان مایکل فارادی، آهنگرزاده‌ای بود که در ۱۸۱۹ میلادی (پیش از اختراع الکتروموتور و مولد الکتریکی) با اعمال تجزیه‌ای که برروی یک قطعه پولاد دمشقی به‌عمل آورد خواص بی‌نظیرآن را مربوط به مقادیر اندکی از سیلیس و آلومین دانست. نتیجه گیری فارادی نادرست بود، ولی ژان روبر بران بازرس عیارگیریهای ضرابخانهٔ پاریس با الهام ازمقالهٔ او آزمایشهایی به‌عمل آورد و عناصر گوناگونی را به‌پولاد افزود وبالاخره درسال ۱۸۲۱ میلادی برای نخستین بار نکتهٔ اساسی متالورژیکی پولادهای دمشق را دریافت. اودانست که استحکام، چقرمگی وزیبایی‌شگرف شمشیرهای دمشق ناشی ازآن است که پولاد آنها بیشتر از پولاد معمولی کربن دارد. بران نواحی سفید نقوش شمشیر دمشقی را «پولادکربن‌دار» و زمینهٔ تاریک آن را «پولاد» می‌نامید.

بران موفق شد شمشیرهایی مشابه الگوی شمشیرهای دمشقی بسازد، ولی‌هیچ گاه جزئیات کارخود را توضیح نداد. ازاین گذشته، او نتوانست اهمیت تمام مراحل کار را بفهمد. بنابراین اساس فهم کامل علمی پولادهای دمشقی تا اواخر قرن مشخص‌نشد، تا آنکه تحقیقات متعددی در زمینهٔ تبدیل فازهای پولاد به‌صورت تابعی‌از دما و کربن محتوایی آن به‌عمل آمد. حتی امروزه که نمودارهای فاز آهن ـ کربن بخوبی شناخته شده است، فن شمشیرسازی دمشقی، می‌تواندکشفی باشدکه مطابق قوانین امریکا حق ثبت اختراع آن برای مخترع آن محفوظ بماند.

علاقهٔ خود ما نسبت به‌این موضوع ناشی از تحقیقی است که در بارهٔ پولادهای جدید فرا ـ پر ـ کربن به عمل می‌آوریم. چنین پولادهایی، که از ۱ تا ۱٫۲ درصد کربن دارند به‌ندرت در صنعت به‌کار می‌روند زیرا فرض‌براین است که آنها شکننده‌اند. ولی‌نسبت کربن در شمشیرهای دمشقی از ۱٫۵ تا ۲ درصد است. بنابراین، اعتبار بی‌چون و چرای این‌شمشیرها ازلحاظ چقرمگی دلالت‌براین داردکه شکنندگی عادی حاصل ازکربن زیاد را می‌توان با اعمال

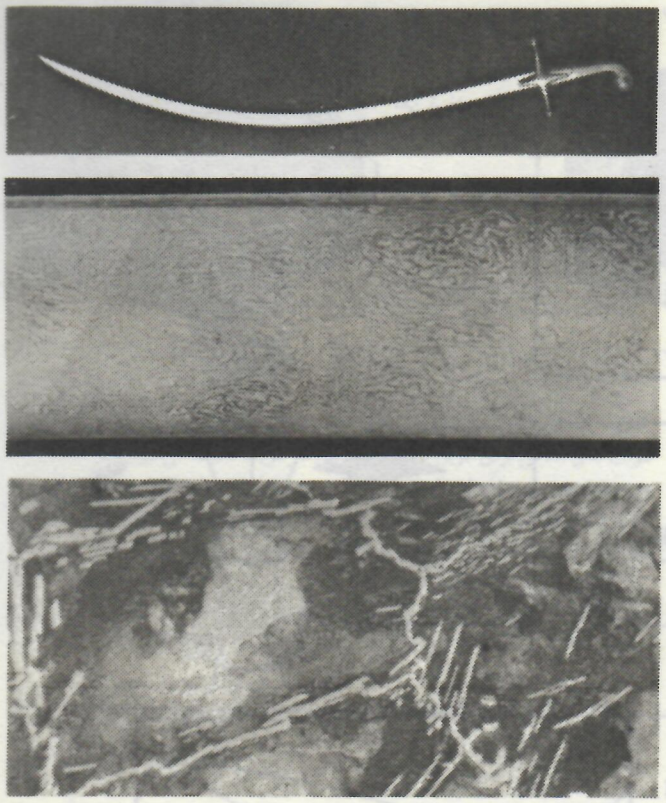
مناسبی که روی پولاد صورت می گیرد برطرف کرد. ما در دانشگاه استانفورد پولادهای فرا-پر-کربن ساختیم که شبیه شمشیرهای مذکور، در دمای عادی هم محکم اند و هم کش پذیر. به این طریق، توانستیم شمشیرهایی همچون شمشیرهای افسانه‌ای دمشقی بسازیم. طرز کاری که در آزمایشگاه ما دنبال شد شبیه به همان طرز کاری بود که آهنگران باستان خاور نزدیک اختراع کرده بودند.

تاریخ نخستین شرح وتوصیفهای تیغه‌های شمشیرهای دمشقی به ۵۴۰ ق.م می‌رسد، لیکن کاربرد آنها ممکن است از زمان اسکندر کبیر (حدود ۳۲۳ ق.م) متداول شده باشد. نام این گونه شمشیرها نه از جای مبدأ آن بلکه از نام جایی که اروپاییان اولین بار درجنگهای صلیبی با آن برخورد پیدا کرده‌اند گرفته شده است. خود این گونه پولاد در هندوستان ساخته می‌شد و در آنجا به نام ووتز[1] معروف بوده است. این پولاد به صورت شمشهایی به اندازهٔ دیسك بازی ها کی وسیعاً مبادله می‌شده است. ظن قوی آن است که آهنکاری بهترین تیغه‌های ووتزی در ایران انجام می‌شده است. ووتز برای ساختن زره وسپر نیز به کار می‌رفته است. گرچه توزیع جغرافیایی پولادهای دمشقی به‌دنبال توسعهٔ اعتقاد اسلامی‌صورت گرفته، ولی این گونه پولاد در روسیه قرون وسطایی نیز شناخته شده بوده و درآنجا بولات[2] نامیده می‌شده است.

ساختن ووتز، مانندتمام فرایندهای پولادسازی، شامل جداسازی اکسیژن از کانهٔ آهن است. کانهٔ آهن نوعی اکسید است. افزایش کربن به‌این اکسید، آهن را می کاهد (احیا می کند)، به‌آن استحکام می‌بخشد و آن را به پولاد تبدیل می کند. منبع کربن زغال، چوب یا برگ درخت‌بوده است. معمولاً آهن و زغال مخلوط وتا حدود ۱۲۰۰ درجهٔ سلسیوس درکوره‌ای سنگی گرم می‌شده است. دراین عمل اکسیژن بر اثر واکنش با کربن زغال جدا می‌شود. محصول عمل، بسته به مقدار زغال در مخلوط، یا نوعی آهن ورزیده بوده که کربن بسیار کمی دارد، یا چدن خام بوده که مقدار کربن آن بیش از ۴ درصد است. پولادسازان هندی ووتز را یا با افزودن کربن به‌آهن معمولی یا با جدا کردن کربن ازچدن خام می‌ساخته‌اند.

طرز کار تولید ووتز ازآهن معمولی بهتر از طرز تولید آن از چدن خام فهمیده شده است. بدین ترتیب که قطعات کوچك فلز با زغال چوب مخلوط می‌شده و دریك بوتهٔ گلی سربسته به‌قطرتقریبی ۸ سانتیمتر و عمق ۱۶ سانتیمتر تا حدود ۱۲۰۰ درجهٔ سلسیوس گرم می‌شده است. در این دما آهن معمولی هنوزجامد است، لیکن بلورهای آن ساختمان مکعبی مراکز-وجوه- پر دارد که می‌تواند اتمهایی ازکربن را درفضای بین اتمهای آهن خود بپذیرد. [شکل ۳ را ببینید]. بنابراین کربن به‌تدریج درآهن نفوذ می کند و آلیاژی به‌وجود می‌آوردکه امروزه به‌نام اوستنیت[3] معروف است.

با افزایش کربن نقطهٔ ذوب فلز پایین می‌آید. وقتی کربن‌موجود درسطح قطعات آهن معمولی به‌حدود ۲ درصد افزایش‌یابد برسطح هر قطعه، لایهٔ مذاب نازکی از چدن سفید تشکیل می‌شود. وجود مادهٔ مذاب با صدای «شلپ شلپ» که به هنگام تکان دادن بوته به‌گوش می‌رسید مشخص می‌شد، این صدا نشان می‌داد که مقدار قابل ملاحظه‌ای ازکربن درآهن حل شده است.

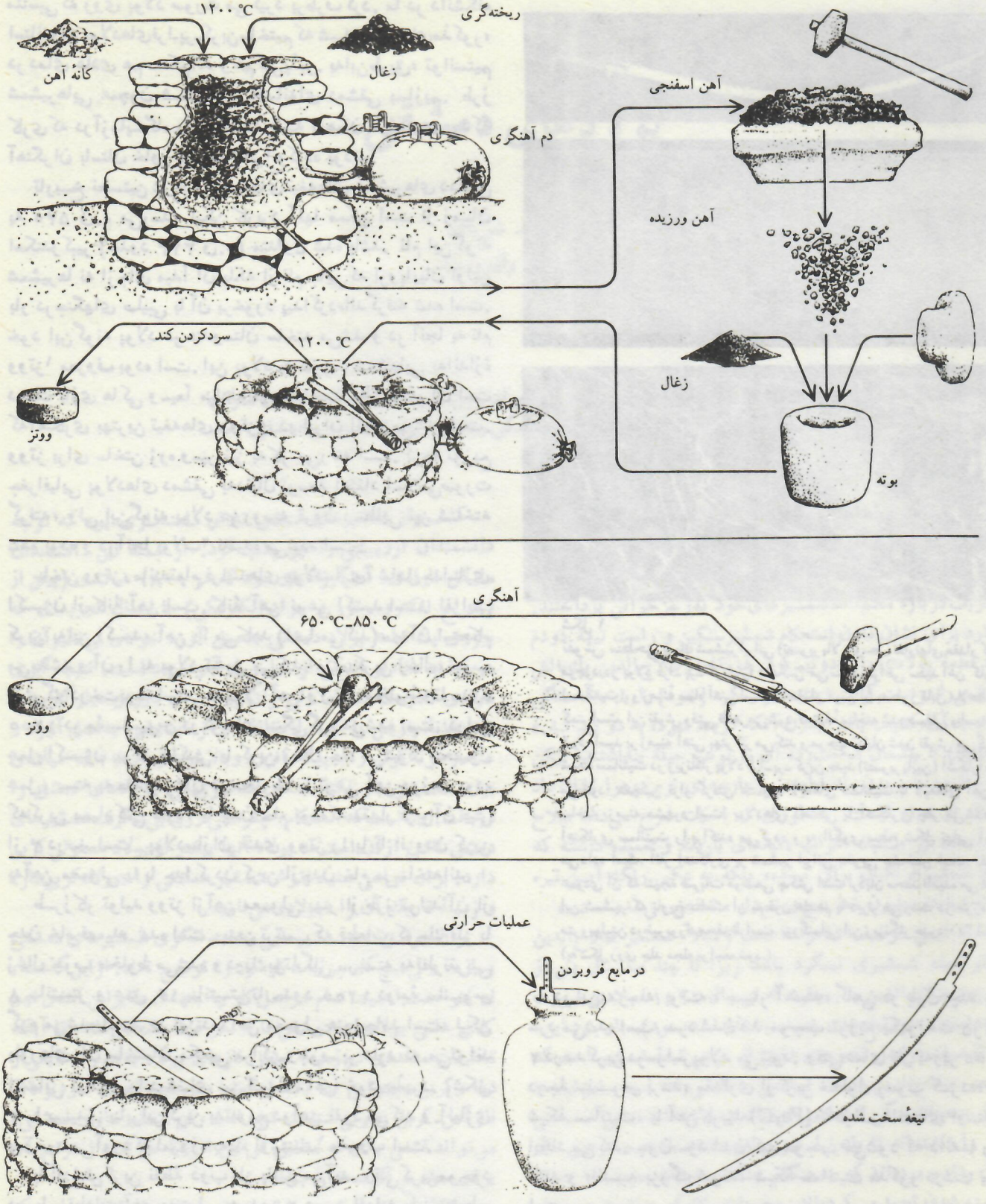


شکل ۱
نقوش سطحی بریك شمشیر ایرانی (تصویر بالا و وسط) تفاوتهای مقدار کربن موجود در پولاد فرا- پر- کربن را منعکس می‌سازد: نواحی سفید آهن کاربید (سمانتیت)، و زمینهٔ سیاه آهنی است که مقدار کربن آن به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر است. این نقوش وقتی ظاهر می‌شود که تیغهٔ ساخته شده صیقلی و اسیدزده شود. اسید بر زمینهٔ آهنی بهتر اثر می کند و موجب نمایان شدن نقوش می گردد. شبکهٔ سمانتیت در ریزنگار پولاد فرا- پر- کربن جدید (تصویر پایین) آشکارادیده می‌شود؛ همچنین قرار گرفتن متناوب لایه‌های سمانتیت با لایه‌های آهن در ساختار زمینه مشهود است. پولادهای دمشقی با آهنکاری چقر می‌شده‌اند، آهنکاری سمانتیت را پراکنده می‌کرده و به الگوی سطح شکل نهایی آن را می‌داده است. آثار آهنکاری بر شمشیر ایرانی بخوبی مشخص است: نقوش عمودی آن که نتیجهٔ ضربات موضعی چکش است نردبان محمد نامیده می‌شود. این شمشیر که تاریخ ساخت آن به قرن هفدهم یا دیرتر می‌رسد، در موزهٔ هنر متروپولیتن در نیویورك محفوظ است. بزرگنمایی این ریزنگار حدود ۲۰۰ است. (به شکل روی جلد مجله مراجعه شود.)

در این مرحله بوته، بسیار آهسته، گاهی در طول چند روز سرد می‌شده است. سرد شدن کند موجب توزیع یکنواخت ۱٫۵ تا ۲ درصد کربن درسراسر پولاد می‌شود. وقتی دمای فلز به‌زیر ۱۰۰۰ درجهٔ سلسیوس برسد، مقداری ازکربن محلول رسوب کرده، یك شبکهٔ سمانتیت، یا آهن کاربید (Fe_3C)، اطراف دانه‌های اوستنیت ایجاد می کند. چون سرد شدن کند موجب می‌شود که دانه‌ها رشد کنند و بالنسبه بزرگ شوند، شبکهٔ سمانتیت مذکور درشت بوده است.

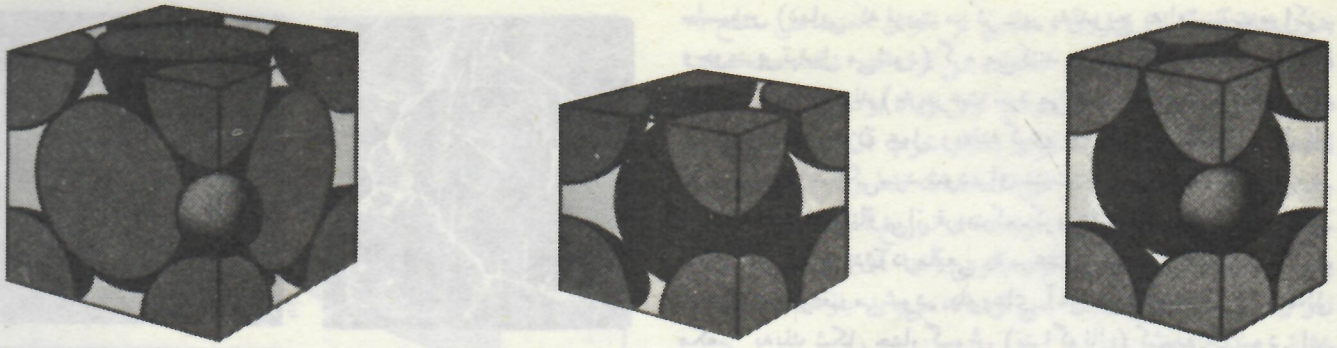
همین شبکهٔ درشت بوده که نهایتاً منجر به نقوش رؤیت‌پذیر بر شمشیرهای دمشقی می‌شده است. اما سمانتیت بعضی عوارض منفی‌نیز دارد. گرچه بسیارسخت‌است، ولی در دمای‌اتاق‌فوق‌العاده شکننده است. این خاصیت شکنندگی بر اثر ساختار شبکه‌ای که رگه‌هایی برای رشد شکافها فراهم می‌آورد، بیشتر می‌شود. اما شمشیرهای دمشقی خاصیت مخالف شکنندگی یعنی خاصیت چقری

1. wootz 2. bulat 3. austenite



شکل ۲

طرز ساختن یك شمشیر دمشقی معمولا با ریخته‌گری فولاد فرا-پر- کربن که آن را در کارگاههای ریخته‌گری هندوستان ووتز می‌نامیدند آغاز می‌شده است کانهٔ آهن و زغال با هم مخلوط و در یك کورهٔ سنگی کم عمق تا حدود ۱۲۰۰ درجه سلسیوس گرم می‌شده است. در این عمل آهن بر اثر واکنش با کربن زغال کاهیده (بی‌اکسیژن) می‌شود و حالتی اسفنجی شکل پیدا می‌کند. ناخالصیهای آهن اسفنجی با چکش کاری جدا می‌شود و حاصل آن تکه‌هایی آهن ورزیده است که کمی کربن دارد. برای افزایش مقدار کربن این آهن، آن را با مقداری زغال در یك بوتهٔ گلی می‌کردند، باید هنگام گرم کردن در بوته مسدود می‌شد تا از اکسید شدن مجدد آن جلوگیری به عمل آید. وقتی صدای «شلپ‌شلپ» وجود مقداری از مادهٔ مذاب را اعلام می‌کرد، می‌گذاشتند بوته در کوره به آهستگی سرد شود. ووتز به صورت گرده‌هایی به قطر چند اینچ مبادله می‌شده است. آهنگران خاور نزدیك یك گرده ووتز را احتمالا بین ۶۵۰ و ۸۵۰ درجه سلسیوس گرم می‌کرده و با آهنکاری از آن تیغهٔ دمشقی می‌ساخته‌اند؛ پولادهای فرا-پر- کربن در آن دما نرم و چکش خوار می‌شود، تیغهٔ ساخته شده با گرم کردن مجدد و فروبردن آن در آب، آب نمك یا نوعی مایع دیگر سخت می‌شده است.



شکل ۳

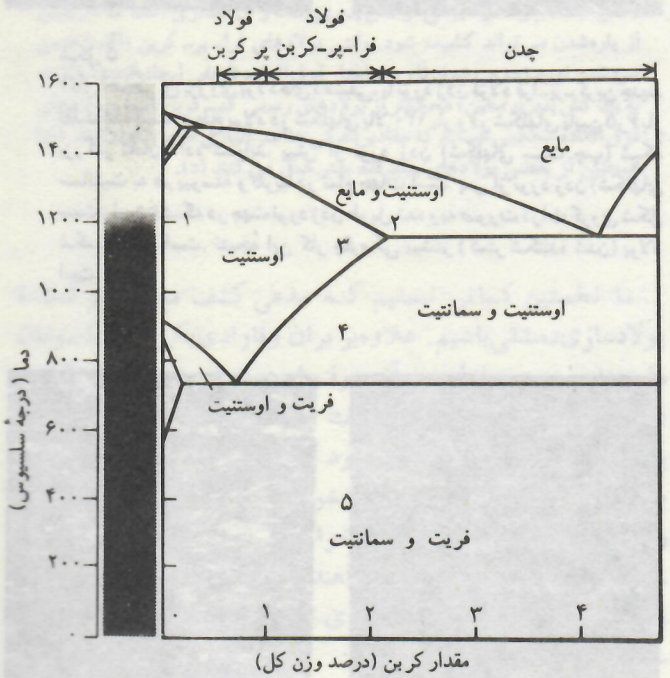
بلورهای آهن در پولادهای فرا- پر- کربن به سه شکل وجود دارد. در دمای بالاتر از ۷۲۷ درجهٔ سلسیوس، آرایش پایدار آن به صورت شبکهٔ مکعبی است که اتمهای آهن در مرکز هر وجه جای دارند. آرایش مراکز وجوه پر می‌تواند اتمهای کربن (گویهای سیاه) را بین اتمهای آهن بپذیرد. بنابراین در دماهای بالا کربن در آهن حل می‌شود؛ این محلول را اوستنیت می‌نامند. در این حال اگر فولاد به کندی، تا دمای اتاق، سرد شود بلورهای آهن به شکل مکعب مرکز پر در می‌آید که در آن جای اندکی برای کربن وجود دارد؛ این فاز فریت نامیده می‌شود. اگر فولاد به سرعت سرد شود (آبداده شود، در آب فرو برده شود) اتمهای کربن در بلورهای تغییر شکل یافته، در بلورهای چهار وجهی مرکز پر به دام می‌افتد، که در این حال سخت‌تر از فریت است و مارتنسیت نامیده می‌شود.

داشتند. علت این‌امر آن است که ووتز فقط پس از آهنکاری و خرد شدن شبکه‌های سمانتیت آن به‌وسیلهٔ عمل چکش کاری ممتد چقرمگی لازم را به‌دست می‌آورد.

برای ساختن تیغه‌های شمشیر از پولاد دمشقی ظاهراً آن را در دمای نسبتاً کم چکش کاری می‌کرده‌اند. آهنگران قرون وسطایی نمی‌توانستند دمای درون کوره را به دقت اندازه‌گیری کنند، و بنابراین از رنگ فلز برای پی‌بردن به‌دما استفاده می‌کرده‌اند. گسترهٔ دماهای آهنکاری برای پولادها، معمولاً از دمای سفید (۱۲۰۰ درجهٔ سلسیوس) تا دمای نارنجی (۹۰۰ درجه) امتداد می‌یابد، ولی به‌نظر می‌رسد که آهنکاری ووتز بین قرمز گیلاسی (۸۵۰ درجه) و قرمز خونی (۶۵۰ درجه) انجام می‌شده است. دماهای بالاتر موجب می‌شود که سمانتیت بار دیگر در اوستنیت حل شود، اما چکش کاری گردهٔ ووتز در زیر ۸۵۰ درجه موجب شکسته شدن شبکهٔ پیوستهٔ سمانتیت و تبدیل آن به ذرات کروی شکل می‌شده است. دراین صورت وجود ذرات کاربید هنوز عاملی برای استحکام پولاد بوده، ولی‌چون دیگر شبکهٔ پیوسته‌ای نداشته، شکننده نبوده است.

شواهد نشان می‌دهند که آهنکاری شمشیرهای دمشقی بخوبی انجام می‌شده و به‌نظر می‌رسد که بلندی شمش در جریان کوبش تیغه باضریب سه تاهشت کاهش می‌یافته است. آزمایشی که ما به‌عمل آوردیم نشان داد که پولادهای فرا - پر- کربن درواقع کش‌پذیراند و در دمای ۸۵۰ درجهٔ سلسیوس به آسانی آهنکاری می‌شوند. ما شمشهایی را که ۱٫۳، ۱٫۶ و ۱٫۹ درصد کربن داشتند تحت فشارهای کرنشی بسیار زیاد قرار دادیم به‌طریقی که ابعاد آنها دریک مرحله فشار با ضریب سه تغییر می‌کرد. درهیچ یك از شمشها علامت خرد شدگی پیدا نشد. برعکس شمش چدن، که کربن زیاد (۲٫۳٪) آن موجب شکنندگی بیشتر می‌شود، در زیر همان فشار لبه‌هایش خرد شد.

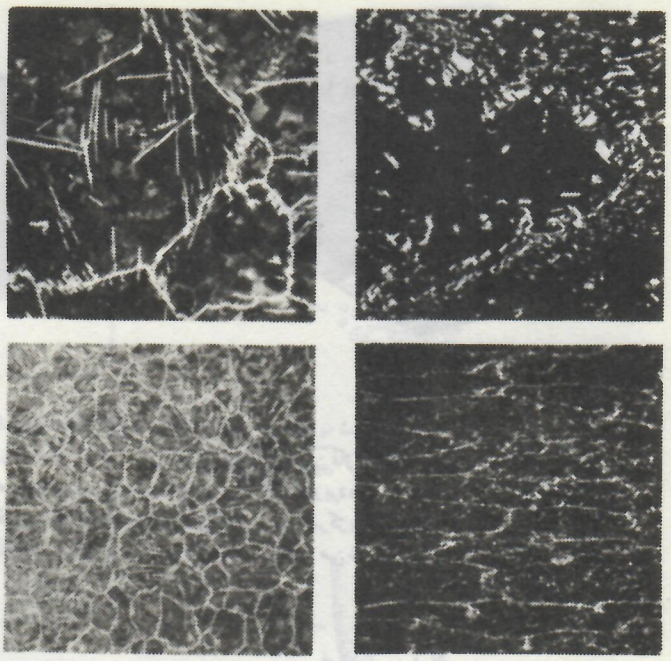
یکی از دلایلی که آهنگران اروپایی برای ساختن شمشیرهای نوع دمشقی، حتی از ووتزهای وارداتی، آن قدر با اشکال مواجه می‌شدند، محتملاً این بوده است که آنان عادت داشتند با پولادهای کم- کربن کار کنند. این گونه پولادها نقطهٔ ذوب بالاتری دارند و آنها



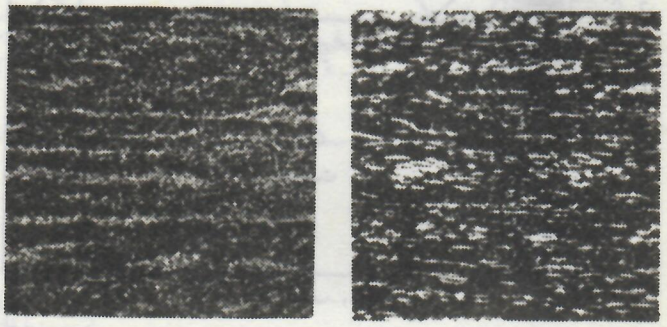
شکل ۴

نمودار فاز کربن- آهن اساس درك خواص و روند ساختن شمشیرهای دمشقی است. وقتی آهن معمولی و زغال تا ۱۲۰۰ درجهٔ سلسیوس در یك بوته گرم شود، آهن به اوستنیت مراکز وجوه پر (۱) تبدیل می‌شود. در این صورت کربن زغال در آهن حل می‌شود و دمای ذوب آن را پایین می‌آورد. وقتی کربن موجود در لایهٔ سطحی از ۲ درصد تجاوز کند چدن مذاب در سطح ذرات آهن تشکیل می‌شود (۲). سردشدن کند موجب می‌شود که کربن در فلز نفوذ کند و پولادی تولید شود که متوسط مقدار کربن آن بین ۱٫۵ تا ۲ درصد باشد (۳)؛ این عمل همچنین موجب می‌شود که دانه‌های اوستنیت رشد کرده، درشت شود. وقتی دما به زیر ۱۰۰۰ درجهٔ سلسیوس برسد کربن از محلول به صورت سمانتیت در مرزهای دانه رسوب می‌کند (۴) شبکهٔ درشت سمانتیت منبع نقوش سفید پولادهای دمشقی بوده است. هرگاه دما تا ۷۲۷ درجهٔ سلسیوس پایین آید اوستنیت مراکز وجوه پر به لایه‌های متناوبی از سمانتیت و فریت مرکز پر کم- کربن تبدیل می‌شود (۵). تیغه‌ها با گرم کردن مجدد تا ۷۲۷ درجه و سپس فرو بردن آن در مایع که در جریان آن اوستنیت به مارتنسیت تبدیل می‌شود، سخت می‌شده است. آهنگر قرون وسطایی دمای فلز را از روی رنگ آن می‌سنجیده است.

(به‌شکل پشت جلد مجله مراجعه کنید.)



شکل ۵
آثار آهنگری برروی پولادهای دمشقی، با نورد زدن فولاد فرا-پر- کربن جدید، تقلید شده است. سطح پولاد در شکلهای بالا ۱۳۰ بار و در شکلهای پایین ۶٫۵ بار بزرگتر نشان داده شده‌اند. پیش از نورد زدن (شکلهای سمت چپ) شبکهٔ سمانتیت به هم پیوسته و تقریباً در تمام جهات است. پس از نورد زدن (شکلهای سمت راست) شبکه در جهت نورد زدن طویل شده و به صورت ذرات کروی شکل شکسته شده است. نتیجهٔ این کار چقرمگی بیشتر (کمتر شکننده شدن) پولاد است.



شکل ۶
ضخامت مقاطع یك تیغهٔ دمشقی (سمت چپ) و یك پولاد فرا- پر- کربن نورد خورده (سمت راست) ریز ساختارهای مشابه نشان می دهند و این امر حاکی از آن است که اعمال مشابهی روی آنها صورت گرفته است. اعمال مکانیکی شبکه سمانتیت را فشرده می کند؛ فضای بین لایه‌ها حدود ۱۰۰میکرومتر است؛ پولادهای نورد خورده نسبت به تیغه‌های آهنکاری شده، از لحاظ نقوش پولادهای دمشقی، پیچیدگی کمتری دارد.

احتمالاً پولاد هندی را در دمای سفید، یعنی در دمایی که مقداری ازآن ذوب می‌شده، آهنکاری می کرده‌اند. محصول احتمالی چنین تلاشی را برآن توصیف کرده است. بنابرمشاهدات برآن «(پولادهای دمشقی) در دمای سفید زیرچکش خرد می‌شوند.»

تیغه‌های دمشقی، پس از آهنکاری، معمولاً با عملیات حرارتی سخت می‌شد. برای سخت شدن پولادآن را تا بالاتراز ۷۲۷ درجهٔ سلسیوس (دمایی که فریت مرکز- پر به‌تدریج به اوستنیت مراکز- وجوه- پر تبدیل می‌شود) گرم می کنند و سپس‌آن را درآب یا مادهٔ دیگری فرو می برند (به سرعت سرد می کنند) وقتی پولادهای فرا- پر-کربن را همچون عمل ریخته گری اولیهٔ ووتز بگذاریم از فاز اوستنیت به‌آهستگی‌سرد شود، اوستنیت به پرلیت[1] تبدیل‌می‌شود. پرلیت‌لایه‌های متناوبی‌از فریت‌کم-کربن وسمانتیت پر-کربن‌دارد. لیکن اگر بافروبردن درمایعی به‌سرعت سرد شود، تبدیل‌اوستنیت به پرلیت متوقف می‌شود. بلورهای آهن مرکز-پر، ولی از شکل مکعبی به‌یك شکل چهارگوش (تتراگونال) کشیده می‌شود. این ساختار را، که هنوز جا برای اتمهای کربن دارد و بنابراین سخت است، مارتنسیت[2] می‌نامند.

به نظر می‌رسد که آهنگران قرون وسطایی عملیات حرارتی تیغه‌های دمشقی را به‌راههای گوناگون دنبال می کرده‌اند و غالباً به‌ملاحظاتی توجه داشته‌اندکه برای مهندسان امروزی بی‌اهمیت است. مثلاً بعضی‌از آهنگران اصرار می‌ورزیده‌اندکه شمشیرها را درپیشاب یك پسرسرخ‌روی و سرخ‌موی یا درپیشاب «بزسه‌ساله‌ای که به‌مدت سه‌روز فقط از سرخس تغذیه کرده است» فروبرند. یکی از مفصلترین توصیفهای روش سخت سازی پولاد دمشقی (بولات) درمعبد بالگالا[3]ی آسیای صغیر یافت شده است. دراین شرح آمده است که «بولات را باید گرم کرد تاحدی که درخشندگی نداشته‌باشد، درست مانند خورشیدی که درصحرا طلوع می کند، بعد باید آن را سرد کرد تا به‌رنگ ارغوانی شاهی درآید و سپس‌آن را دربدن یك بردهٔ عضلانی نیرومند فروبرد... قدرت‌برده به‌تیغ منتقل‌می‌شود، و به‌فلز آن استحکام می بخشد.»

دستورالعمل‌مذکور را می‌توان به‌این‌صورت تعبیر کرد که تیغ را تا دمای زیاد، احتمالاً بالای ۱۰۰۰ درجهٔ سلسیوس («طلوع خورشید در صحرا») گرم می کنند، بعد آن را در هوا سرد کرده، به‌دمای حدود ۸۰۰ درجه («ارغوانی شاهی») می‌رسانند. بالاخره آن را دریك محیط گرم (۳۷ درجه) آب نمکی‌فروبرده و به‌سرعت سرد می کنند.

احتمالاً از این طرزکار بخصوص بهترین تیغهٔ دمشقی به دست نمی‌آمده است. زیرا گرم‌کردن تیغه تادمای بالاتراز ۱۰۰۰درجه موجب حل شدن مجدد سمانتیت وتبدیل آن به اوستنیت مراکز- وجوه- پر می‌شود، و به‌هنگام سرد شدن تادمای۸۰۰ درجه، ساختار شبکه‌ای درشتی که براثر آهنکاری از بین رفته بود، بار دیگر ظاهر می گردد.همچنین دردمای زیاد دانه‌های‌فولاد نسبتاً بزرگ به‌وجود می‌آید. هر دو اثر مذکور از چقرمگی تیغه می کاهد. شمشیری که مطابق دستورالعمل بالگالا ساخته شود سخت است، ولی ممکن است بسیارشکننده باشد وتحمل‌ضربهٔ آن تیغ دمشقی را که پیش‌از آبدادن فقط تا ۷۲۷ درجه گرم شده است، نداشته باشد. چنین شمشیرهایی هم چقر و هم سخت بوده‌اند.

بنابر نظریهٔ متالورژیکی‌امروزی،محکمترین وچقرترین‌پولادها، پولادهایی است‌که ریزترین دانه‌ها و ذرات را داشته باشند. جالب است‌که دراین صورت آن شمشیرهای دمشقی‌که ازهمه‌بهتر بوده‌اند نمی‌باید نقوش شمشیرهای مشخص‌دمشقی‌را می‌داشته‌اند.

1. pearlite 2. martensite 3. Balgala

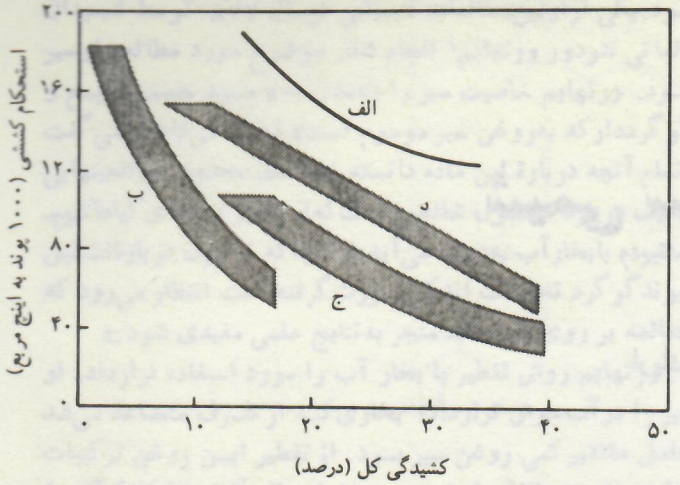
بدون شك آهنگران قرون وسطایی از نقوش اختصاصی سطح به صورت نوعی کنترل کیفیت استفاده می‌کرده‌اند. شاهد مشخصات شمشیرهای دمشقی هم دارا بودن کربن زیاد بوده که به تیغهٔ آن استحکام می‌بخشیده و هم آهنکاری بسیار خوب آن بوده که موجب چقری آن می‌شده است. ولی این مشخصات فقط وقتی مرئی می‌شود که ذرات سمانتیت در پولاد، درشت، و توزیع آنها ناهموار باشد. پس تیغه‌هایی که ساختار میکروسکوپی آنها آن قدر ریز بوده که نقوش مرئی در سطح ایجاد نمی‌کرده‌اند می‌باید باز هم محکمتر و چقرتر بوده باشند.

ما برای آزمودن نظرهایی که در بارهٔ ترکیب و عمل آوردن پولادهای دمشقی داشتیم کوشیدیم تا مشخصات شمشیرهای دمشقی را در آزمایشگاه بازآفرینی کنیم. برای این کار نخست یك قطعه پولاد ریخته شدهٔ کوچك را که ۱٫۷ درصد کربن داشت تا دمای ۱۱۵۰ درجه (زرد روشن) به‌مدت ۱۵ ساعت گرم کردیم. گرم کردن طولانی موجب حل‌شدن کربن و تولید نوعی اوستنیت بسیار درشت شد. بعداً آن را با آهنگ حدود ۱۵ درجه دما در هر ساعت سرد کردیم. سرد کردن کند، در مرزهای دانه‌های اوستنیت یك شبکهٔ پیوسته سمانتیت درشت ایجاد کرد.

سرانجام مجدداً آن را تا ۸۰۰ درجه گرم کردیم و نورد زدیم به‌طوری که ضخامت آن تا ۱/۸ کاهش یافت. در این مرحله، که عملی شبیه به آهنکاری بود، دانه‌ها در جهت نورد خوردن کشیده شد و شبکهٔ کاربید شکست. در این حال وقتی پولاد را اسید زدیم و اسید برزمینهٔ آهنی بهتر از کاربید اثر کرد، مشخصات شمشیر دمشقی باچشم غیرمسلح دیده شد. ساختار میکروسکوپی این قطعه به‌طرزی شگفت‌آور شبیه به پولادهای دمشقی بود. [شکل ۶ را ببینید.]

طرز کاری که در اینجا شرح داده شد یکی از راههای ساختن پولاد دمشقی است، احتمالاً راههای بسیار دیگری نیز وجود داشته است. صنعتکاران خاور نزدیك ممکن است پولادهای عالی با کربن فوق زیاد ساخته باشند که فاقد نقوش پولادهای دمشقی بوده است. ما در آزمایشگاه با نورد زدن یك قطعه پولاد به هنگامی که دمای آن از ۱۱۰۰ درجهٔ سلسیوس پایین می‌آمد و از فاز اوستنیت ـ همراه با ـ سمانتیت می‌گذشت چنین فولادی را ساختیم. انجام کار مکانیکی دانه‌های اوستنیت را تصفیه می‌کرد و موجب می‌شد که سمانتیت به صورت ذرات ریز با پراکندگی یکنواخت در محلول رسوب کند و به‌صورت یك شبکهٔ درشت درنیاید. فولادی که بدین‌ترتیب حاصل می‌شد نقوش سطحی پولاد دمشقی را نداشت.

این گونه پولادهای فرا ـ پر ـ کربن که عاری از مشخصات پولادهای دمشقی هستند در دمای اتاق از پولادهای رسمی ماشینی محکمتر و چقرتراند. از این گذشته آنها در دماهای ۶۰۰ تا ۸۰۰ درجه حالتی فوق پلاستیکی (یعنی حالتی شبیه به عسل یا شیشهٔ نیمه مذاب) دارند. و درنتیجه می‌توان آنها را به‌دقت شکل داد و با کمترین هزینهٔ ماشینکاری و با روشهایی که باتولید انبوه سازگار باشد آنها را به‌صورت انواع چرخ دنده و لوازم پیچیده‌ای از این قبیل درآورد.



شکل ۷

استحکام و کش‌پذیری (قابلیت مفتول شدن) پولادهای فرا ـ پر ـ کربن ممکن است از استحکام و نرمش فولادهای رسمی بیشتر باشد. استحکام کششی بیشترین بار کششی است که یك قطعه فلز استاندارد پیش از پاره‌شدن می‌تواند تحمل کند. دراز شدن میزانی از کش‌پذیری است و آن مقداری است که فلز پیش از پاره‌شدن می‌تواند کشیده شود. وقتی پولادهای فرا ـ پر ـ کربن (الف) ضمن سردشدن نورد زده می‌شوند تا ریز ساختار فوق‌العاده ظریفی ایجاد کنند، (باتوجه به یك کش‌پذیری معین) محکمتر از پولادهای رسمی کم ـ کربن (ب) و پولادهای فوق‌العاده محکمی هستند که مقادیر اندکی عناصر آلیاژی خاص (ج) دارند. آنها همچنین از بعضی پولادهای پیشرفته بهتر عمل می‌کنند (د).

ما نخستین کسانی نیستیم که مدعی کشف مجدد هنر گمشدهٔ پولادسازی دمشقی باشیم. علاوه بر بران و فارادی یکی از پیشکسوتان ما مهندس روسی پاول ب. آنوسوف است که در ۱۸۴۱ تك‌نگاری دوجلدی زیر عنوان در بارهٔ بولات منتشر کرد. آنوسوف چنان از یافته‌های خود به هیجان آمده بود که اعلام کرد: «جنگاوران ما به‌زودی با تیغهای بولاتی مجهز خواهند شد، زحمتکشان ما زمین را باشخم‌افزارهای بولاتی کشت خواهند کرد، فن‌آوران ما از ابزاری ساخته شده از بولات استفاده خواهند کرد، و بزودی بولات هرنوع پولادی را که برای ساختن اشیای تیز و بادوام به کار می‌رود کنار خواهد زد.»

پیشگویی آنوسوف تحقق نیافت. امروزه پتانسیل عظیم پولادهای فرا ـ پر ـ کربن عمدتاً کشف نشده باقی‌مانده است. خوشبینی ما کمتر از آنوسوف است ولی باور ما این است که وضع دگرگون می‌شود و راز پولاد دمشقی در صنعت جدید دانشی متداول خواهد شد. بنابریك ضرب‌المثل روسی، «بهترین نو غالباً آن است که در گذشتهٔ دور فراموش شده است.»

ترجمهٔ احمد خواجه‌نصیرطوسی

• Damascus steels
Oleg D. Sherby and Jeffrey Wadsworth
Scientific American. February 1985