بسمه تعالی

دانشکده فنی

گروه مهندسی مواد و متالورژی

پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان

کروی سازی کاربید در فولادهای فوق کربنی پر کروم

مهدی محمدپور

استاد راهنما: دکتر علیرضا کیانی رشید

تیرماه ۱۳۹۱

با تشکر بیکران از پدر، مادر و خواهر مهربانم که همواره در کنار من بوده اند.

Abstract

The Ultra High Carbon Steel (UHCS) 12 wt.% Chromium was evaluated in order to determine its mechanical properties. It was processed to obtain ultrafine spheroidized carbide, pearlite and ferrite structure, respectively. The microstructure of this steels were investigated and the mechanical properties before and after spherodizing were discussed. The present results indicate that the mechanical properties of ultrahigh-carbon steels can be improved by spherodizing carbide.

Keyword: UHCS, Spherodizing, mechanical properties, phase transformation

چکیده

در این پژوهش از فولاد مافوق کربنی با کربن ۲/۰۳۵ ٪ و کرم ۱۰٪ استفاده گردید. فولاد مورد نظر تحت عملیات حرارتی و مکانوترمال بر اساس مکانیزم واتزورد و شربی با تغییراتی جهت رفع مشکلات این مکانیزم قرار گرفت تا ساختاری با کاربیدهای کروی حاصل شود. ساختار حاصله بررسی شده و تست های مکانیکی انجام شد و برروی استحاله فازی و تغییرات ساختاری این فولاد بحث گردید. در نتیجه میتوان بیان داشت که فولادهای مافوق کربنی میتوانند بوسیله عملیات حرارتی مناسب خواص مکانیکی و فیزیکی منحصر به فردی از خود نشان دهند.

کلمات کلیدی: فولاد مافوق کربنی، مکانیزم واتزورد- شربی، مکانوترمال، استحاله فازی

Ferdowsi university of Mashhad

Engineering faculty

Dept. of Materials and metallurgical engineering

M.Sc. thesis on

Carbides spheroidization in high chromium UHCSs

By: Mahdi Muhammadpour

Dr. A.R. Kiani- Rashid

Jul. 2012

فهرست مندرجات

شماره صفحه

۱. مقدمه ۱

۲. مروری بر منابع ۳

۲-۱. دسته بندی کلاسیک فولادها ۳

۲-۲. کاربرد فولادهای مافوق کربنی در گذشته ۶

۲-۳. بررسی کاربردی فولادهای مافوق کربنی ۹

۲-۴. کاربیدهای آلیاژی و طراحی فولاد ابزار ۹

۲-۵. تلاش برای بهبود خواص فولاد مافوق کربنی ۲۳

۲-۶. فولاد ابزار سردکار ۳۳

۲-۷. ریزساختارهای فولاد مافوق کربنی و پرکروم ۳۶

۲-۸. تغییرات پروسه های کروی سازی در فولاهای مافوق کربنی ۳۹

۲-۹. خواص فولادهای فوق کربنی پر کروم در دمای اتاق ۴۳

۲-۱۰. فولاد آلیاژی مافوق کربنی AISI D3 ۴۶

۳. مواد و روش تحقیق ۴۸

۳-۱. فولاد مورد استفاده ۴۸

۳-۲. متالوگرافی ۵۱

۳-۳. عملیات حرارتی و ترمومکانیکی ۵۱

۳-۴. طراحی مکانیزم عملیات حرارتی ۵۳

۳-۴-۱. رسوب دهی ۵۳

۳-۴-۲. عملیات مکانیکی ۵۴

۳-۴-۳. عملیات کروی سازی ۵۵

۳-۵. ساز و کار نهایی ۵۵

۳-۶. آزمون های مکانیکی ۵۶

۳-۷. بررسی های ریز ساختاری به کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM ۵۷

٤. نتایج و بحث ۵۸

۴-۱. تهیه نمونه ۵۸

۴-۲. نمونه ریختگی ۵۸

۴-۳. چگونگی طراحی پروسه عملیات حرارتی ۶۱

۴-۴. نتایج حاصل از امکان یابی پروسه عملیات حرارتی ۶۳

۴-۵. عملیات حرارتی رسوب دهی ۶۹

۴-۶. عملیات مکانیکی ۷۷

۴-۷. عملیات کروی سازی ۷۹

۴-۸. تصاویر میکروسکوپ الکترونی ۸۵

۴-۹. خواص مکانیکی ۸۹

۴-۱۰. سختی سنجی ۹۱

۵. نتیجه گیری نهایی ۹۳

٦. فهرست منابع ۹۴

فهرست جداول

شماره صفحه

۲-۱. خصوصیات کاربیدهای آلیاژی در فولادهای ابزار ۱۰

۲-۲. کاربیدهای فلزات انتقالی ۱۲

۲-۳. انرژی آزاد شکل‌گیری کاربیدها ۱۳

۲-۴. مقایسه سختی بعضی کاربیدها و ریزساختارهای دیده شده در فولادهای ابزار ۱۴

۲-۵. واکنش‌های نامتغییر سطح مایع در سیستم C-Cr-Fe ۱۹

۲-۶. خواص مکانیکی فولاد مافوق کربنی حاوی ۱/۵درصد آلومینیوم ۳۳

۲-۷. بررسی چند فولاد ابزار سرد کار ۳۴

۳-۱. ترکیب فولاد مافوق کربنی مورد استفاده بر حسب درصد وزنی ۴۸

۳-۲. کدهای استاندارد مطابق با فولاد مورد استفاده ۴۹

۳-۳. دماهای بحرانی برگرفته از کلید فولاد ۴۹

۳-۴. ترکیب شیمیایی محلول های اچ مورد استفاده ۵۱

۴-۱: نتایج تحلیل تصاویر رسوب دهی در دماهای مختلف با استفاده از نرم افزار کلمکس ۶۵

۴-۲: کار مکانیکی اعمالی ۶۵

۴-۳: میزان کروی سازی نهایی ۶۸

۴-۴. سختی نمونه های مافوق کربنی پر کروم ۹۱

فهرست تصاویر

شماره صفحه

۲-۱. نمونه ای از فولاد مافوق کربنی ووت هندی (متعلق به قرن ۱۹ میلادی) ۷

۲-۲. مقطع شمشیرهای دمشقی ۸

۲-۳. مقایسه سختی کاربیدهای آلیاژی و سختی زمینه در فولادهای ابزار ۱۲

۲-۴. سختی نسبی کاربیدهای آلیاژی، سمانتیت و مارتنزیت در فولادهای تندبر ۱۳

۲-۵. درصد حجمی کاربیدها در فولاد تندبر، به صورت آنیل شده و آستنیته شده به منظور سخت کاری ۱۵

۲-۶. مقطع عمودی سیستم Fe-C-Cr با ۵٪ کروم ۱۶

۲-۷. مقطع عمودی سیستم Fe-C-Cr با ۱۳٪ کروم ۱۷

۲-۸. فاز مایع در گوشه غنی از آهن از سیستم Fe-Cr-C ۱۹

۲-۹. شمای مقطع هم دمای سیستم Fe-Cr-C در $۸۷۰^{\circ}C$ ۲۰

۲-۱۰. بخشی از مقطع هم دما در $۸۷۰^{\circ}C$ ($۱۶۰۰^{\circ}F$) در سیستم‌های Fe-Cr-C با ترکیب تقریبی ۲۲

۲-۱۱. عملیات حرارتی تالف و همکارانش ۲۷

۲-۱۲. ساختار حاصله از فرآیند عملیات حرارتی تالف در سال ۲۰۰۱ ۲۸

۲-۱۳. ریزساختار بدست آمده از فرآیند تالف در سال ۲۰۰۲ بر روی فولاد مافوق کربنی با درصد کربن ۱/۳درصد

۳۰

۲-۱۴. شماتیک عملیات حرارتی لی و همکارانش (۲۰۰۶) ۳۱

۲-۱۵. ریز ساختار حاصل از عملیات حرارتی لی ۳۲

۲-۱۶. دیاگرام اشبی فولادهای ابزار سرد کار ۳۶

۲-۱۷. ریز ساختار فولاد مافوق کربنی پر کرم X210Cr12. ۳۷

۲-۱۸. جدول تناوبی مندلیف و گروه VI ۳۸

۲-۱۹. تصویر TEM از فولاد مافوق کربنی ریزدانه شده و کروی شده ۴۱

۲-۲۰. خاصیت نیمه سوپر پلاستیک (m=0.33) و لغزش مرز دانه ای ایده آل (m=1) در فولادهای مافوق کربنی حاوی درصد بالای آلومینیوم
۴۳

۲-۲۱. استحکام فولاد مافوق کربنی نسبت به فولادهای معمول مورد کاربرد در صنایع خودرو سازی ۴۴

۲-۲۲. اثر عملیات حرارتی اولیه بر خواص مکانیکی فولاد مافوق کربنی ۴۵

۲-۲۳. نمودار CCT برای فولاد AISI D3 ۴۷

۲-۲۴. نمودار تغییرات سختی بر حسب دمای تمپر برای فولاد AISI D3 ۴۷

۴-۱. ریز ساختار نمونه ریختگی اچ شده با محلول نایتال ۲درصد در بزرگنمایی های متفاوت ۵۹

۴-۲. ریز ساختار نمونه ریختگی اچ شده با محلول براها در بزرگنمایی های متفاوت. رنگ سفید نشان دهنده فاز کاربید و رنگ آبی نشان دهنده فاز فریت در نمونه می باشد ۶۱

۴-۳. شماتیک عملیات حرارتی انجام شده ۶۲

۴-۴. ریز ساختار حاصله از دماهای مختلف آستنیته در مرحله رسوب دهی. اچ شده با نایتال ۲% ۶۴

۴-۵. ریز ساختار حاصله از عملیات کروی سازی برای زمان های مختلف نگهداری در کوره در دمای ۷۵۰°C اچ شده در محلول نایتال ۲٪
۶۷

۴-۶. ساختار سطح نمونه دکربوره شده، اچ شده با محلول براها در بزرگنمایی های مختلف ۷۱

۴-۷. نمونه دکربوره شده، اچ شده با محلول نایتال ۲درصد در بزرگنمایی های مختلف ۷۲

۴-۸. ریز ساختار نمونه ذوب شده در بوته چدنی اچ شده با نایتال ۲درصد در بزرگنمایی های مختلف ۷۳

۴-۹. ساختار نهایی نمونه های مورد بررسی پس از عملیات رسوب دهی اچ شده در محلول نایتال ۲درصد ۷۵

۴-۱۰. ساختار نهایی نمونه های مورد بررسی پس از عملیات رسوب دهی اچ شده در محلول براها در بزرگنمایی های مختلف
۷۶

۴-۱۱. ساختار نمونه های فولادی پس از نورد اچ شده در محلول نایتال ۲درصد در بزرگنمایی های مختلف ۷۸

۴-۱۲. ساختار نمونه های فولادی پس از عملیات کروی سازی اچ شده در محلول نایتال ۲درصد در بزرگنمایی های مختلف
۸۱

۴-۱۳. ساختار نمونه های فولادی پس از عملیات کروی سازی، اچ شده در محلول براها و در بزرگنمایی های مختلف ۸۲

۴-۱۴. تحولات ریز ساختاری نمونه در طی انجام پروسه عملیات حرارتی اچ شده با نایتال ۲درصد ۸۳

۴-۱۵. تصویر میکروسکوپ الکترونی ریز ساختار فولاد مافوق کربنی پر کروم ۸۵

۴-۱۶. آنالیز EDS از فولاد مافوق کربنی پر کروم پس از انجام عملیات کروی سازی ۸۸

۴-۱۷. نمودار نیرو- کرنش خمشی فولاد مافوق کربنی ۸۹

۴-۱۸. مقطع شکست نمونه فولاد مافوق کربنی پر کروم پس از انجام کامل پروسه عملیات حرارتی ۹۰

۱. مقدمه

کاربرد فولادهای مافوق کربنی حاوی درصد کروم بالا (فولاد ابزار کارسرد سری AISI D) به دلیل استعداد به تردی در دمای بالا، محدود به دماهای پایین تر از ۲۶۰°C بوده است. در این سری از فولادها می توان به فولاد مافوق کربنی- پرکروم AISI D3 اشاره کرد که با بیش از ۲درصد کربن و ۱۰ تا ۱۳درصد کروم، به صورت گسترده برای ساخت تیغه های ابزار برش و قالب های فرم دهی استفاده می شود[۱].

فولادهای ابزار کارسرد عموما در دمای بین ۹۲۰°C تا ۹۸۰°C آستنیته می شوند و کاربیدهای موجود در این فولاد در زمینه حل می شود. با این تفاسیر در دمای بالا تر از ۹۸۰°C کارایی این فولادها در دمای بالا کاهش خواهد یافت. فولادهای سری D حتی در دماهای آستنیته حدود ۱۱۹۰°C تا ۱۲۹۰°C ذرات کاربیدی هنوز به صورت حل نشده و پایدار باقی می مانند و این کاربیدهای پایدار کارپذیری آنها را نسبت به فولادهای ساده کربنی کاهش می دهد [۲].

اما این کاربیدهای پایدار در صورتی که به طریقه صحیحی کروی گردیده و ساختار فولاد زمینه بسیار ریز دانه گردد قابلیت بروز خاصیت سوپر پلاستیسیته از خود خواهند داشت. با ایجاد کاربیدهای ریز و کروی پایدار در دمای بالا در مرز دانه ها، می توان حتی تا ۱۰۰۰درصد افزایش درصد طول را در دمای بالاشاهد بود [۳]. این در حالی است که فولادهای ابزار مافوق کربنی در دمای محیط ترد بوده و کار سرد پذیری پایینی دارند. با انجام این عمل می توان استحکام و قابلیت شکل پذیری این فولادها را در دمای محیط نیز بالا برد.

شکل پذیری در فولادها برای ساخت قطعات مختلف فاکتوری بسیار مهم و قابل توجه است. بایستی اذعان داشت که در صورت شکل پذیری پایین در ماده اولیه، محصول نهایی حاوی ترک خواهد بود که همین ترک محل تمرکز تنش گردیده و موجب شکست و از کار افتادگی قطعه می شود.

در این پروژه، محقق سعی بر بالا بردن خواص مکانیکی فولاد مافوق کربنی- پر کروم با استفاده از کروی سازی کاربیدهای موجود در نمونه و ریز دانه سازی آن دارد و تلاش دارد ساختار زمینه را به ساختار با خواص سوپر پلاستیک در فولادهای مافوق کربنی کم آلیاژ نزدیک نماید. برای این منظور از پروسه عملیات حرارتی ترمومکانیکی[1] استفاده گردید. این پروسه عملیات حرارتی مشتمل بر سه مرحله بود:

۱.رسوب دهی کاربیدها در مرز دانه، ۲.شکستن کاربیدها و ریز دانه سازی، ۳.کروی سازی نهایی

با وجود کاربیدهای ریز و پایدار در مرز دانه ها، این رسوب ها می توانند از رشد دانه در دمای بالا جلوگیری نمایند. به این ترتیب حتی در دمای بالا نیز ساختاری ریز دانه را خواهیم داشت که بسیار مفید خواهد بود. از سویی به دلیل کروی بودن کاربیدها تمرکز تنش به حداقل می رسد و به دلیل ریز دانه شدن ساختار نمونه مورد بررسی، شاهد بالا رفتن استحکام و میزان تحمل نیروی اعمالی و تغییر فرم در این فولاد به صورت هم زمان حتی در دمای اتاق خواهیم بود.

[1] Thermo-Mechanical Processing(TMP)

۲. مروری بر منابع

۲-۱. دسته بندی کلاسیک فولادها

واژه فولاد برای آلیاژهای پایه آهنی که دارای کربن بین ۰/۰۲۵ تا حدود ۲/۱۱ درصد می باشند، بکار برده می شود. این آلیاژها می توانند محدوده وسیعی از خواص مکانیکی و فیزیکی را در بر گیرند. بر اساس تعریف موسسه آهن و فولاد آمریکا[1]، فولاهای پرکربن آلیاژهایی از آهن و کربن هستند که معمولاً در آن ها مقدار کربن بیش از ۱ درصد، منگنز ۱/۶۵ درصد و مقدار مس و سیلیسیوم آن ها بیشتر از ۰/۶ درصد نیست[۱].

تغییرات اکسیژن زدایی و پروسه های ساخت فولاد بر روی خواص فولاد تاثیر می گذارد از طرفی تغییرات مقدار کربن بیشترین تاثیر را بر روی خواص مکانیکی دارد. با افزایش مقدار کربن، سختی و استحکام فولاد افزایش می یابد. از این رو در تقسیم بندی فولادها می توان میزان کربن آن را مورد توجه قرار داد. با درنظر گرفتن درصد کربن، فولادها به پنج دسته کلی تقسیم بندی می شوند:

- **فولادهای کم کربن**[2]: درصد کربن این فولادها حداکثر ۰/۱۵ درصد می باشد. در صنعت گاهی این آلیاژ به فولادهای کششی نیز معروف می باشند. به علت اینکه تغییر طول نسبی بالایی دارند اکثراً به صورت ورقه های نازک تولید می شوند و گاهی هم به صورت سیم و یا مفتول به کار می روند. همچنین این فولادها از خواص مغناطیسی بالا و از قابلیت جوشکاری خوبی برخوردار بوده و مشکل خاصی در جوشکاری ندارند. درمواردی که قطعات تحت عملیات حرارتی سخت کاری سطحی قرار می گیرند، کاربرد خوبی دارند. هر فلزی که جوش پذیری بهتری داشته باشد و به سادگی بتوان با آن به جوشی که خواص فلز جوش ، منطقه HAZ و فلز پایه یکسان دست یافت، جوشکاری ساده تری

[1] American Iron and Steel Institute (AISI)
[2] Low carbon steels (LCSs)

دارد. اگر فلزی جوش پذیری خوبی داشته باشد، با حداقل دانش فنی، می توان آن را به خوبی جوش داد.

در فولادها معمولاً جوش پذیری را با کربن معادل ارتباط می دهند. اغلب هر چه کربن معادل بالاتر باشد، جوش پذیری کم تر می شود، زیرا هر چه کربن معادل بیشتر باشد، سختی پذیری بیشتر می شود. بنابراین احتمال ایجاد فاز مارتنزیت و ایجاد تردی در فولادها بیشتر می شود. بنابراین جوش پذیری کاهش می یابد. به عبارت دیگر اتصال این فولادها با کمتر از ۰/۱۵ درصد کربن که به عنوان فولادهای کم کربن شناخته می شوند، با روش های جوشکاری و لحیم کاری به سهولت انجام می شود.

این فولادها دارای سختی پذیری پایینی هستند. یک فولاد حاوی ۰/۱۵ درصد کربن وقتی با سرعت بالا سرد شود قابلیت سخت شوندگی ۳۰ تا ۴۰ راکول C را دارد.

- **فولاد با کربن جزئی**[1]: درصد کربن در این فولادها ۰/۱۵ تا ۰/۳۰ درصد می باشد و آنها را فولادهای نرم می نامند. این فولادها دارای جوش پذیری خوبی هستند. تغییر طول نسبی کمتری نسبت به فولاد کم کربن دارند، اما این فولادها استحکام کششی بهتری دارند. معمولاً به صورت ورق تولید می شوند و گاهی اوقات به صورت نبشی و میلگرد نیز عرضه می گردند. یکی از معروف ترین فولادهای این گروه از فولادها، ST37 می باشد[۱].

فولادهای کم کربن و کربن جزئی را به عنوان فولادهای ساختمانی می شناسند و در صنعت به آنها آهن آلات گفته می شود. جوشکاری با الکترود دستی معمول ترین روش جوشکاری فولادهای کم کربن

[1] Mild steel

و کربن جزئی می باشد، همچنین جوشکاری با قوس زیر پودری نیز دیگر روش معمول برای جوشکاری این دو نوع فولاد می باشد[۱].

- **فولاد با کربن متوسط**[1]: درصد کربن در این فولادها ۰/۳درصد تا ۰/۵۰درصد می باشد و تغییر چشم گیری در قابلیت جوش پذیری نسبت به دو گروه قبل دارند. فولادهای کربن متوسط به صورت گسترده ای در فولادهای ابزار مورد استفاده قرار می گیرند. بسیاری از این فولادها به دلیل مقاومت به سایش بالایی که دارند انتخاب می شوند و جهت حصول خواص مطلوب بر روی آنها عملیات حرارتی انجام می گیرد. جوشکاری ممکن است قبل از عملیات حرارتی نهایی صورت گیرد[۱].

فولادهای حاوی حدوداً ۰/۳۰درصد کربن و مقادیر نسبتاً پایین منگنز دارای قابلیت جوشکاری خوبی می باشند. اگر فولاد دارای ۰/۵۰درصد کربن باشد و رویه های جوشکاری فولاد های نرم برای آن استفاده شود، بی شک در اثر جوشکاری ترک ایجاد می شود. همچنین هر گاه درصد کربن در فولاد افزایش یابد بایستی رویه های جوشکاری جهت جلوگیری از شکل گیری مقادیر بالای مارتنزیت در منطقه متاثر از حرارت طراحی شود.

- **فولادهای پرکربن**[2]: فولادهای با درصد کربن بالاتر از ۰/۵۰ و کمتر از ۱ درصد را فولاد های پرکربن می گویند که قابلیت جوش پذیری خیلی ضعیف دارند. فولادهای کربن بالا معمولاً برای کاربردهایی که سختی و مقاومت به سایش بالایی نیاز است بکار می رود، این خواص با عملیات حرارتی حاصل می شوند[۱].

[1] Medium carbon steel
[2] High carbon steels

- **فولادهای مافوق کربنی**[1]: در این فولادها درصد کربن بیش از ۱ درصد و کمتر از ۲/۵ درصد می باشد. در این فولادها کربن بصورت اشباع شده است و فولاد توانایی جذب کربن بیشتر را ندارد. از مزایای این فولادها می توان به خواص سایشی بالای آن ها اشاره کرد. این فولادها با عملیات حرارتی مناسب می توانند استحکامی ۲۰ تا ۲۵ درصد برتر از مرغوب ترین فولادهای آلیاژی را از خود نشان دهند. ارزان و در دسترس بودن این فولاد و سختی پذیری بالا و همچنین مقاومت در برابر تغییر شکل و پایداری ابعادی آن از دیگر مولفه های متمایز این فولاد است. از این فولاد اغلب در فولادهای ابزار سردکار استفاده می گردد. با اطلاع از مزایای این فولاد باید در نظر داشت که این فولاد ترد بوده و فرم پذیری پایینی دارد. عدم کارسرد پذیری آن از معایب دیگر آن بوده و دمای کارگرم بالایی نیز دارد[۱].

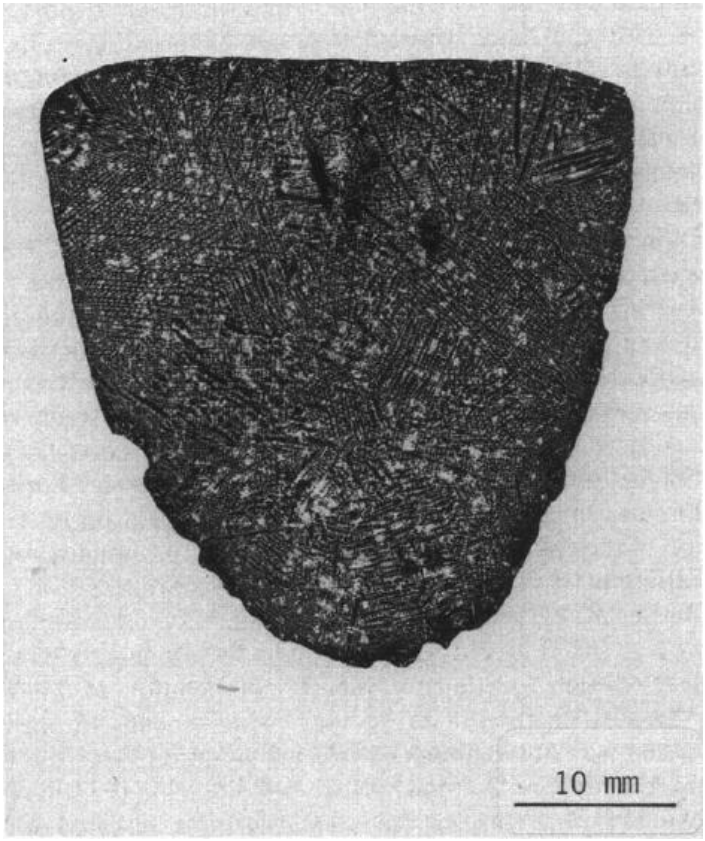
۲-۲.کاربرد فولاد های مافوق کربنی در گذشته

فولادهای مافوق کربنی با قابلیت تولید آسان و ارزان از دیرباز مورد توجه بشر بوده است. این فولادها می توانند قابلیت های متفاوتی از خواص مکانیکی و فیزیکی از خود نشان دهند. نمونه ای از این کاربردها در شمشیرهای دمشقی دیده می شود.

خواص فوق العاده فولادهای دمشقی همیشه مورد توجه دانشمندان و مهندسین مواد بوده است. درک صحیح از چگونگی حصول این خواص مستلزم بررسی فرآیند تولید و عملیات ترمومکانیکال[2] پس از آن می باشد. حتی در زمان کنونی درباره این دو موضوع عمده پرسش ها و شبهاتی وجود دارد. فولادهای دمشقی ابتدا

[1] Ultra high carbon steels (UHCSs)
[2] Thermo-mechanical

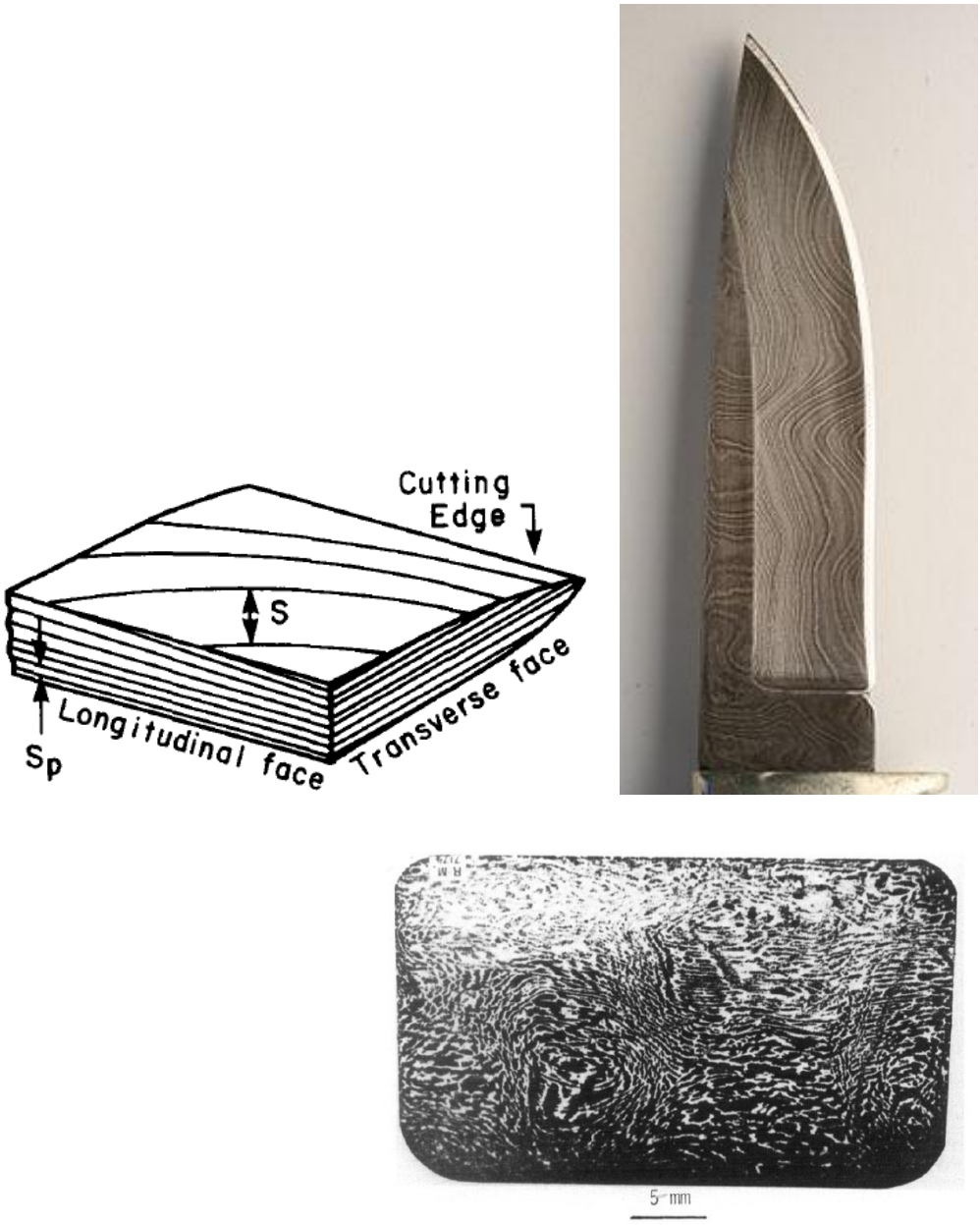
در هند تولید می شده اند و به ووت هندی شهرت داشته اند. تولید این فولادها در ایران باستان به صورت گسترده انجام می شده است و پس از آن به دمشق رفته و از این طریق به اروپا راه یافته است. گفته می شود که شمشیرهای مسلمانان در جنگ های صلیبی از این نوع فولاد ساخته می شدکه دستور ساخت آن به ۳۰۰ سال پیش از میلاد باز می گردد. شکل ۲-۱ نمونه ای از فولاد مافوق کربنی ووت هندی را نمایش میدهد[۲].



شکل ۲-۱: نمونه ای از فولاد مافوق کربنی ووت هندی (متعلق به قرن ۱۹ میلادی)[۲].

ترکیب های شیمیایی متفاوتی برای شمشیرهای دمشقی ذکر گردیده است که مقادیری از ۱/۲۰ تا ۱/۸۰ درصد را پوشش می دهد. سوال مهم اینجاست که آیا این فولادها در حالت ریختگی به همین میزان کربن داشته اند و یا از چدن های با درصد کربن ۲/۵ تا ۳/۵ درصد برای این امر استفاده شده و سپس دکربوراسیون بر

روی آن انجام شده است؟ شمشیرهای ساخته شده از این فولادها دارای استحکام و مقاومت به شکست بالا بوده به راحتی تیز شده و دارای تیغه با لبه ارتجاعی بوده است. این فولادها به دلیل نقوش جریان آب بر روی خود از سایر فولادها متمایز بوده اند. در شکل ۲-۲ گونه ای از این فولادها نمایش داده شده است[۳].



شکل ۲-۲: مقطع شمشیرهای دمشقی[۳].