

بسمه تعالی

فهرست

۲	خلاصه
۵	درباره این گزارش
۷	فولاد: بزرگی، اهمیت، جایگاه ایران
۷	فولاد چیست؟
۹	تقسیم بندی فولادها برحسب ترکیب
۱۰	ضرورت های اقتصادی توسعه صنعت
۱۱	اهمیت صنایع جنبی برای صنعت فولاد
۱۳	نگاهی به تولید فولاد خام در جهان
۱۶	نگاهی به وضعیت بازار و قیمت های انواع فولاد
۱۸	میزان مصرف فولاد در جهان سال ۲۰۰۳
۲۰	توزیع تولید فولاد در جهان در سال ۲۰۰۳
۲۳	شرکت های بزرگ تولیدکننده فولاد
۲۳	شرکت های تولیدکننده فولاد در ایران
۲۴	نگاهی کوتاه به برنامه ۲۰ ساله تدوین شده برای توسعه فولاد در ایران
۲۸	توسعه صنعت فولاد در برنامه چهارم توسعه
۲۹	مواد اولیه فولاد سازی
۳۲	قراضه
۳۴	فروآلیاژها
۳۵	دیرگذاها
۳۷	روش های تولید فولاد
۳۸	الف) روش فولادسازی بوسیله اکسیژن
۳۹	ب) روش کوره الکتریکی
۴۲	ج) روش کوره باز
۴۴	فناوری نانو؛ فناوری بی بدیل فردا
۴۴	فناوری نانو چیست؟
۴۵	یک نانومتر چیست؟
۴۵	اهمیت فناوری نانو
۴۶	تاریخچه فناوری نانو
۴۷	آیا فناوری نانو پدیده ای جدید است؟
۵۰	نگاه به آینده؛ درس هایی از گذشته
۵۱	سیاست گذاری فناوری نانو در جهان
۵۲	فرصت های موجود در بخش فناوری نانو
۵۳	کاربردها و محصولات فناوری نانو
۵۷	معرفی برخی محصولات پایه ای فناوری نانو
۶۶	تلاقی فناوری نانو و فولاد؛ عرصه ای بکر برای پیشرفت
۶۶	برخی محصولات فولادی تولید شده با استفاده از کمک فناوری نانو
۶۷	افزایش مقاومت خزشی و خواص دما بالا با استفاده از فناوری نانو
۶۹	افزایش استحکام فولاد با استفاده از فناوری نانو
۷۳	افزایش مقاومت به خوردگی فولاد با استفاده از فناوری نانو
۷۴	دیگر خواص ایجاد شده در فولاد با استفاده از فناوری نانو
۷۵	برخی پتنت های ثبت شده در زمینه فناوری نانو
۷۸	پژوهش های انجام شده در زمینه فناوری نانو

خلاصه

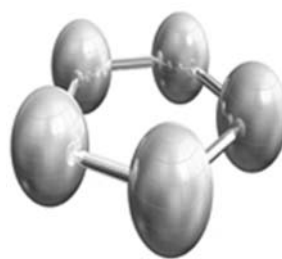
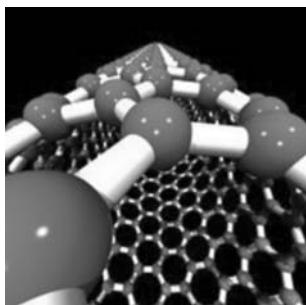
هنوز هم می‌توان ادعا کرد پایه‌های جامعه بر فولاد نهاده شده است. ماده‌ای با ماهیت آهن که با افزودن مقادیر مختلفی از کربن و عناصر مختلف دیگر، گستره وسیعی از خواص و کاربردها را به بشر اهدا کرده است. فولاد جزیی ضروری برای هر جامعه و جزیی ضروری برای توسعه پایدار و دستیابی مردم به نیازهای امروز و فردای آنهاست. در طول روز، هر کس چه در یک کشور توسعه‌یافته و چه در یک کشور در حال توسعه، به هر سویی بنگرد، فولاد را به صورتی خواهد دید. وسایل حمل و نقل مانند خودرو و راه‌آهن، لوازم ساختمانی از تک اتاقی کوچک در دل یک باغ تا برجی سر به آسمان نهاده در دل یک کلان شهر، لوازم انرژی‌رسانی در برق، نفت و گاز طبیعی، تجهیزات و لوازم تهیه مواد غذایی از بیل گرفته تا تراکتور، لوازم انتقال آب مانند پمپ‌ها و خطوط لوله و تجهیزات پزشکی و سلامت، همه گوشه‌هایی از گستردگی فولاد در زندگی امروز را نشان می‌دهند.

ارزش فولاد تولید شده در سال فراتر از ۲۰۰ میلیارد دلار است. این رقم نشان‌گر سهم غیر قابل چشم‌پوشی فولاد در اقتصاد جهان امروز است. اما نباید غافل شد، صنایع فولادی با این سهم بزرگ اقتصادی، چالش‌های زیادی را، حتی در سال‌های اخیر پیش روی داشته‌اند. در طی ۲۰ سال اخیر صنعت فولاد تحت تغییرات انقلابی زیادی قرار گرفته است و شرکت‌های فولادی برای حفظ نقش خود در توسعه جوامع، سرمایه‌گذاری‌های زیادی را انجام داده‌اند. این سرمایه‌گذاری‌ها چه در قالب شرکت‌های منفرد و چه گروهی از شرکت‌ها با یکدیگر، در کارخانه‌ها، فناوری‌ها، روش‌های کار و محصولات جدید بوده است. سرمایه‌گذاری‌های فوق‌تاثیراتی چشمگیر بر کارایی محصولات فولادی در برآورد نیازها، کاهش مصرف انرژی و مواد اولیه و افزایش سازگاری صنعت فولاد با محیط زیست داشته است.

خلاصه

در جامعه و کشور ما ایران نیز فولاد نقشی حتی موثرتر از آنچه ذکر گردید، دارد. بالغ بر ۳۵ سال از ساخت اولین نوب آهن کشور در اصفهان می‌گذرد و امروز این صنعت جزیی بومی و سنتی از بدنه اقتصادی و اجتماعی جامعه به‌شمار می‌رود. در طی این مدت ساخت و گسترش شرکت‌های کوچک و بزرگ فولادسازی در کشور مانند نوب آهن اصفهان، فولاد مبارکه و فولاد خوزستان، سبب شده است، ایران امروز با تولیدی حدود $7/8$ میلیون تن فولاد خام، از نظر حجم تولید در محدوده تقریبی ۲۰ کشور برتر جهان قرار گیرد. با در نظر داشتن شرایط اقتصادی و صنعتی ایران به عنوان کشوری در حال بسط دادن ساختارهای لازم برای گام نهادن به توسعه‌یافتگی و با تکیه بر نعمت گاز طبیعی فراوان و ارزان در کشور، برنامه‌هایی برای صنعت فولاد تدوین گردیده است تا این صنعت در ۲۰ سال آینده، تولیدی ۴۱ میلیون تنی، یعنی بیش از ۴ برابر تولید فعلی داشته باشد.

اما مساله اینجاست که در این برنامه‌ریزی‌ها و سرمایه‌گذاری‌ها، چه مقدار به توسعه فناوری و نوآوری در فرایندها توجه شده است؟ با نگاهی به برنامه‌های تدوین شده و نیز اظهارات مسوولان این صنعت، جواب قانع‌کننده‌ای برای پرسش فوق، حاصل نمی‌شود.



خلاصه

در چندسال اخیر، علم و فناوری نانو موج عظیمی از نظرها، پیش‌بینی‌ها و امیدها و در پی آن موج عظیم دیگری از سرمایه‌گذاری‌ها و پژوهش‌ها را در جوامع مختلف با خود همراه کرده است. فناوری نانو توانایی ساخت و کنترل مواد و بهره‌گیری از آنها در ابعاد نانومتری است. حوزه گسترده‌ی فناوری نانو به یک صنعت یا فناوری خاص محدود نیست، بلکه بخش‌های مختلف و متعددی با آگاهی به توانایی‌های این فناوری، تلاش خود را برای استفاده از آن آغاز نموده‌اند. با توجه به اینکه مدتی پیش از تولد فناوری نانو نگذشته است، محصولات چندی از توانایی‌های این فناوری زاده شده‌اند، اما در آینده‌ای نه چندان دور باید منتظر خیل محصولات متنوع و مختلف نانویی بود. شاهد این موضوع محصولات مختلفی از فناوری نانو است که دائماً پا به جهان می‌گذارند.



در مورد فناوری نانو نکته مهمی هست که باید به آن توجه داشت. فناوری نانو با ظهور خود در فرایندها و بخش‌های مختلف صنایع گوناگون ادغام می‌شود و قابلیت آن را دارد که تمام این عرصه‌ها را از نو بسازد؛ بسیاری از توانمندی‌های این فناوری به ویژگی‌های بهبوددهنده آن باز می‌گردد. با بکارگیری درست این توانمندی‌ها می‌توان محصولاتی با کیفیت و کارایی بیشتر ساخت، از منابع و

خلاصه

سوخت استفاده بهینه نمود و از آلاینده‌گی محیط زیست کاست. این قابلیت توانمندسازی فناوری نانو، به ویژه در صنایعی که در حوزه مواد قرار دارند،



پررنگ‌تر است.

با جمع‌بندی آنچه ذکر گردید، می‌توان فناوری نانو را به عنوان ابزاری مفید و توانمند در توسعه صنعت فولاد مورد توجه قرار داد. ابزاری که با کمک آن بتوان محصولات با کارایی بیشتر و آلاینده‌گی کمتر را با صرف هزینه کمتری ساخت. پژوهش‌های زیادی که در سال‌های اخیر در خصوص بکارگیری فناوری نانو در فولاد انجام شده و محصولاتی مانند فولادهای پراستحکام، فولادهای مقاوم به خزش و فولادهای مقاوم به خوردگی که در نتیجه این تلاش‌ها، ارایه شده‌اند، می‌تواند گواه خوبی بر صحت این دیدگاه باشند.

درباره این گزارش

گزارش حاضر، به بررسی پژوهش‌های انجام شده و پتنت‌های ثبت شده در مورد کاربرد فناوری نانو در فولاد و محصولاتی که بر پایه این پژوهش‌ها تولید

خلاصه

شده است، می‌پردازد. این گزارش در چارچوب گزارش‌های ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، در مورد کاربرد فناوری نانو در حوزه‌های مهم صنعتی کشور تهیه شده است.

فصل اول این گزارش شرحی جامع و مختصر از صنعت فولاد و محصولات آن است. در این فصل، برای زمینه‌سازی ابتدایی تعریف و دسته‌بندی انواع فولاد و موارد مصرف آن ارائه شده است؛ در ادامه با بیان ابعاد اقتصادی و حجم تولید و مصرف فولاد، اهمیت صنعت فولاد تبیین شده است. در ادامه خلاصه‌ای از برنامه‌ریزی‌های انجام شده برای توسعه صنعت فولاد کشور ارائه شده است. شرح مختصری در مورد مواد اولیه مصرفی در صنعت فولاد و روش‌های تولید فولاد، بخش پایانی این فصل است، که برای آشنایی هر چه بیشتر با صنعت فولاد ارائه شده است.

در فصل دوم این گزارش توضیح مختصری در مورد فناوری نانو ارائه می‌گردد. در این فصل ابتدا بحثی علمی و تاریخی پیرامون چیستی فناوری نانو ارائه می‌گردد. در ادامه، دسته‌بندی کاربردهای این فناوری ارائه می‌شود. به علاوه مطالبی کلی نیز در مورد بعضی محصولات بنیادی فناوری نانو (نانولوله، فلورین و نانوذرات) عنوان می‌گردد. این فصل با ارائه سیاست‌گذاری‌ها و سرمایه‌گذاری‌های انجام شده برای توسعه فناوری نانو پایان می‌یابد.

فصل سوم گزارش نشان‌دهنده تلاش‌های انجام شده برای بکارگیری فناوری نانو در ارائه خواص جدید یا بهبود خواص محصولات فولادی است. در این فصل محصولات تولید شده و عرضه‌شده فولادی با بکارگیری فناوری نانو، پژوهش‌هایی که محققان در سراسر دنیا در موضوع ذکر شده انجام داده‌اند و نیز پتنت‌های ثبت شده در مورد این موضوع آورده شده‌اند.

فولاد؛ بزرگی، اهمیت، جایگاه ایران

فولاد نامی آن چنان آشناست که شاید از دید یک فرد عادی، ماده‌ای ساده به نظر رسد که استفاده‌های زیادی دارد؛ اما چنان تنوعی در این نام نهفته است که از یک فنر نرم تا ابزار برشی سخت را در بر می‌گیرد. این تنوع در قابلیت‌ها و ویژگی‌ها، از تنوع مواد سازنده مختلفی که علاوه بر آهن، در ترکیب فولاد استفاده می‌شوند و نیز از تنوع فناوری‌ها و روش‌های تولید متعدد فولاد ناشی می‌گردند. تنوع و میزان تولید و مصرف فولاد در دنیای امروز، با بیش از ۱۰۰ کشور تولیدکننده فولاد، معیاری از پیشرفتگی و توسعه‌یافتگی یک کشور به حساب می‌آید. برنامه‌ریزی یک کشور فولادساز برای صنعت فولاد خود، به منظور تولید محصولات متنوع و مورد نیاز فولادی، استفاده از فناوری‌ها و روش‌های مختلف فولادسازی و حفظ توانایی رقابت با حریفان اهمیت حیاتی دارد.

فولاد چیست؟

فولاد آلیاژ انعطاف‌پذیری از آهن و کربن است که می‌تواند دارای عناصر آلیاژی دیگر مانند منگنز، سیلیسیم، مس، نیکل، کرم، مولیبدن، نایبیم، وانادیم، تیتانیم، فسفر و گوگرد نیز باشد. به عبارت دیگر به هر آلیاژی از آهن و کربن که شامل کمتر از دو درصد کربن باشد، فولاد گویند. اگر مقدار کربن در آلیاژ آهن و کربن بیش از دو درصد شود به ماده مزبور چدن می‌گویند.

فولادها را می‌توان به طرق مختلف دسته‌بندی نمود:

۱- طبقه‌بندی بر اساس ترکیبات شیمیایی

۲- طبقه‌بندی بر اساس روش تولید



۳- طبقه‌بندی بر اساس شکل ظاهری مانند طول، عرض، ضخامت و نوع نورد. از نظر شکل ظاهری فولادها به دو دسته فرآورده‌های طولی و فرآورده‌های تخت تقسیم می‌شوند. مصارف عمده فرآورده‌های تخت در صنایع مربوط به سازه‌های صنعتی و ماشین‌سازی است. فرآورده‌های طولی معمولاً شامل مقاطع سبک، متوسط و سنگین فولادی از قبیل تیرآهن، نبشی، سپری، میلگرد، ناودانی، ریل راه‌آهن و انواع میله و مفتول هستند که در ایران این محصولات به روش نورد گرم تولید می‌شوند. تولیدکنندگان عمده آن در ایران کارخانجات ذوب آهن اصفهان و گروه ملی صنایع فولاد ایران (اهواز) هستند.

ارتباط نزدیک بین صنعت فولاد هر کشور با توسعه صنعتی و متعاقباً توسعه اقتصادی ایجاد می‌کند دولت نسبت به تولید محصولات فولادی تخت نیز توجه داشته باشد. مجتمع فولاد مبارکه تنها واحدی است که دارای امکانات تولیدی برای انواع محصولات تخت فولادی است^۱.

برخی از کاربردهای فرآورده‌های فولادی تخت در صنایع به شرح زیر است:

۱- لوله‌های انتقال نفت و گاز و آب

۲- صنایع خودروسازی (بدنه، قطعه یدکی، رینگ، چرخ و شاسی)

- ۳- صنایع کشتی سازی
- ۴- صنایع ماشین سازی
- ۵- فولادهای مقاوم به خوردگی اتمسفر و محیط
- ۶- صنایع الکتریکی
- ۷- صنایع ساختمانی
- ۸- تولید لوازم خانگی
- ۹- مخازن تحت فشار
- ۱۰- سازه‌ها با استحکام بالا
- ۱۱- صنایع سیلندر سازی، سوله سازی و بشکه سازی
- ۱۲- رادیاتور سازی، لوله و پروفیل^۱.

تقسیم بندی فولادها بر حسب ترکیب

به طور کلی فولادها را از نظر ترکیب شیمیایی به دو دسته می توان تقسیم کرد: الف) فولادهای کربن دار، در این فولادها خواص مکانیکی و سایر خواص آنها با تغییر درصد کربن تغییر می کنند. فولادهایی که جزو این دسته هستند عبارتند از:

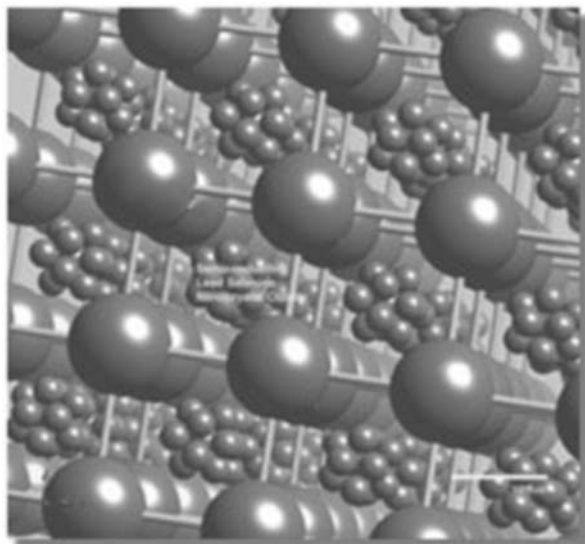
۱) فولادهای کم کربن: دارای ۰/۲۵ درصد کربن

۲) فولاد با کربن متوسط: دارای ۰/۲۵-۰/۶ درصد کربن

۳) فولاد با کربن زیاد: دارای ۰/۶۱-۲/۰۶ درصد کربن

فولادهای کربن دار عموماً دارای مقداری سیلیسیم و منگنز نیز هستند. امروزه بیش از ۹۸ درصد از فولادهای تولیدی کشور ما فولادهای کربنی هستند که عمدتاً به صورت مقاطع ساختمانی و محصولات تخت (کلاف و ورق) عرضه می شوند

ب) فولادهای کربن دار آلیاژی: این فولادها گذشته از عناصر همراه فولادهای کربن دار، عناصر آلیاژی دیگری نیز مانند: Cr، Ni، Mo و W همراه دارند. این مواد



آلیاژی خواص مکانیکی و سایر خواص فولادها را در مقایسه با فولادهای کربن دار بهتر می‌کنند^۲. متأسفانه تولیدات داخلی کشور در این زمینه ناچیز است.

ضرورت‌های اقتصادی توسعه صنعت

در ادبیات اقتصادی، کشوری که بتواند به میزان قابل توجهی فولاد تولید کند، یک کشور برخوردار از رشد صنعتی به شمار می‌آید؛ زیرا تولید فولاد مستلزم وجود تأسیسات زیربنایی و تدارک سرمایه‌گذاری کلان در اموری چون جاده، راه آهن، بنادر، منابع انسانی، دانش فنی، تأمین آب و برق و گاز و نیز سنگ آهن و زغال سنگ است. در سال‌های اخیر جانشین‌هایی مثل انواع پلاستیک‌های مقاوم، آلومینیوم، و مس برای فولاد مطرح شده است، ولی فولاد همچنان کالایی استراتژیک با کاربردها و خواص گوناگون محسوب می‌شود^۱.

در خصوص ضرورت توسعه صنعت فولاد و افزایش سرمایه‌گذاری‌ها در این عرصه، دلایل گوناگونی اقامه می‌شود. مهم‌ترین این دلایل را می‌توان به شرح زیر

برشمرد:

۱. جنبه تامین مصرف داخلی و صادرات:

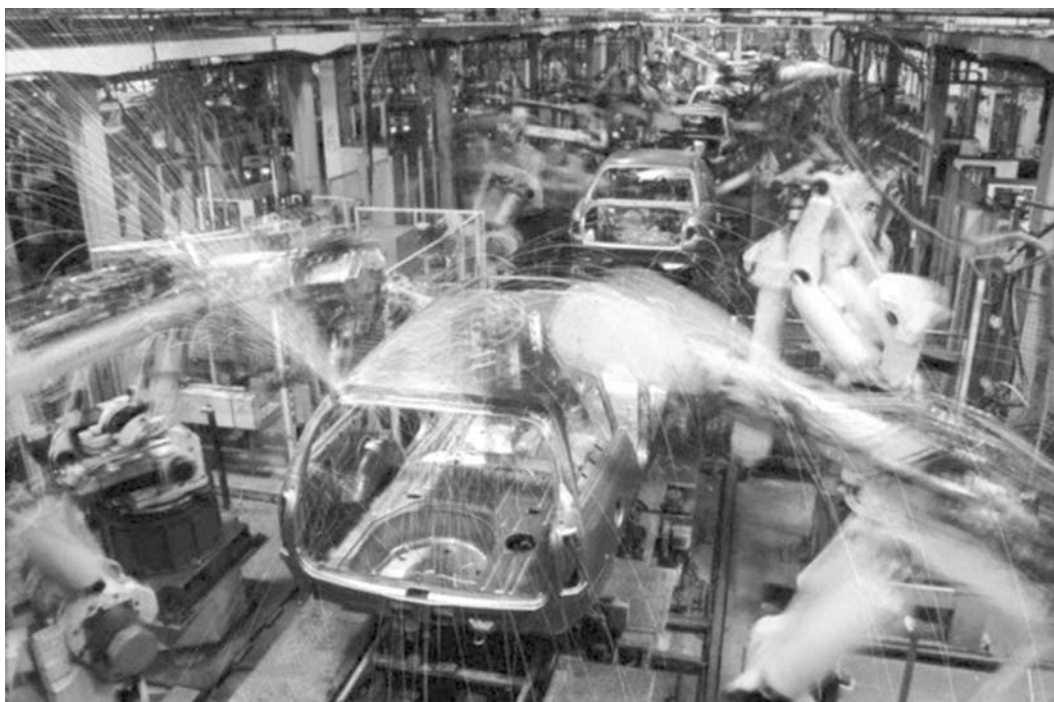
صادرات در این زمینه را می توان به بخش های تولید و صادرات محصولات فولادی، کسب و فروش دانش فنی تولید فولاد یا صدور خدمات تقسیم کرد.

۲. بهره برداری از منابع طبیعی نظیر گاز

۳. استراتژیک و فراگیر بودن صنعت فولاد^۱.

اهمیت صنایع جنبی برای صنعت فولاد

صنایع تولیدکننده محصولات فولادی که دارای مصارف صنعتی هستند، اگرچه صنعت مادر هستند، اما یک صنعت میانی بوده و برای تداوم فعالیت خود نیاز به صنایع بالادستی و پایین دستی دارند.



مواد معدنی و مصرفی متعددی مثل سنگ آهن، خاک نسوز، انواع فروآلیاژها و صنایعی مانند صنایع نسوز، ساخت غلتکهای نورد، قطعات لاستیکی، قطعات برقی، الکترونیکی، مکانیکی و هیدرولیکی و ... صنایع بالادستی صنعت فولاد هستند. در مقابل صنایعی مانند صنایع اتومبیل سازی، کشتی سازی، ساخت لوله و پروفیل سازی، لوازم خانگی، اسکلت فلزی و سازه های بزرگ، کلیه صنایع مصرف کننده ورق و سازه های ساختمانی، صنایع پایین دستی این صنعت محسوب می گردند. این صنایع عمدتاً در گروه صنایع سرمایه ای و واسطه ای طبقه بندی می گردند.

صنایع جنبی بالادستی و پایین دستی فولاد طیف وسیعی از صنایع را شامل می گردد. بدین ترتیب با توجه به محدودیت منابع مالی، فیزیکی و نیروی انسانی، لازم است با توجه به شرایط کشور و نیز استفاده از الگوها و مدل های مختلف، طرح های اولویت داری که دارای بیشترین وابستگی به فولاد هستند، تعریف و مشخص نمود^۱.

ایجاد صنایع جنبی در گروه صنایع سرویس دهنده و سرویس گیرنده از دو زاویه قابل توجه و بررسی است؛ اولاً صنایع فلزات اساسی، آهن، فولاد و گروه صنایع سرمایه ای و واسطه ای سرمایه ای، نقش بسیار مهمی را در فرایند صنعتی شدن کشور ایفا می نمایند؛ ثانیاً این گروه از صنایع نه تنها در نظام اقتصادی تعیین کننده سرعت انباشت سرمایه هستند، بلکه به مثابه ابزاری قاطع موجب شکل گیری و بسط فناوری در تمام ابعاد صنعت و سایر بخش های اقتصادی می شوند.

اصولاً یکی از شرایط تداوم فعالیت های اقتصادی واحدهای بزرگ تولیدی نظیر مجتمع های فولادسازی در جهان، حفظ و نگهداری سطح فعالیت این واحدها و جلوگیری از توقف خطوط تولیدی آنها از طریق تأمین قطعات، مواد و ابزار مورد نیاز در کوتاه مدت و بهبود و تغییر روش ها و فناوری ها در بلند مدت است.

از دیگر شرایط تداوم فعالیت اقتصادی واحدهای بزرگ تولیدی که معمولاً دارای هزینه‌های ثابت هنگفت هستند و در آنها رقابت به شکل جدی وجود دارد آن است که از لحاظ مالی بتوانند خودکفا باشند و از طریق کلیه تمهیدات مدیریتی لازم، از بروز ضررهای پی‌درپی در آینده جلوگیری کنند.

دستیابی به این مهم در سایه اقدامات مختلفی امکان‌پذیر است که بارزترین آنها ایجاد صنایع جنبی سرویس‌دهنده جهت تغذیه مواد و ابزار مورد نیاز صنعت است که باید از مسافت‌های دور و بعضاً خارج از کشور تهیه گردند. همچنین صنایع سرویس‌گیرنده، تأمین‌کننده بازار و فروش کافی برای محصولات شرکت‌ها هستند تا از این طریق امکان استفاده از حداکثر ظرفیت تولیدی این واحدها فراهم گردد که نهایتاً بازده اقتصادی بیشتر را به همراه دارد به علاوه مطالعات راهبردی در صنایع فولادی می‌تواند تضمین‌کننده پایداری و توسعه آنها در بلند مدت باشد^۱.

نگاهی به تولید فولاد خام در جهان

فولاد هم اکنون در ۹۷ کشور و در ۵ قاره تولید شده و در تمام کشورهای دنیا به مصرف می‌رسد میزان تولید فولاد خام جهان در ژانویه سال ۲۰۰۵ نسبت به ژانویه سال ۲۰۰۴ با ۸/۵ درصد افزایش به ۸۹/۸۱۴ میلیون تن رسیده و نوید آن است که در سال ۲۰۰۵ میزان تولید فولاد جهان از مرز ۱/۱۵ میلیارد تن بگذرد.

همانند سال‌های قبل کشور چین در سال ۲۰۰۵ نیز پیش‌تاز تولیدکنندگان فولاد جهان بوده است. این کشور با ۲۴/۳ درصد رشد تولید، در ژانویه سال ۲۰۰۵ بیش از ۲۵ میلیون تن فولاد خام تولید کرده است. ژاپن و آمریکا دنباله‌روی کشور چین هستند. شایان ذکر است میزان تولید فولاد خام کشور چین از حاصل جمع تولید فولاد خام کشورهای ژاپن، آمریکا و روسیه بیشتر می‌باشد. کره جنوبی در ماه مذکور نسبت به ماه ژانویه سال قبل ۹/۱ درصد رشد تولید از خود نشان داده است.



در این مدت رشد تولید فولاد ترکیه نیز ۶/۸ درصد به ثبت رسیده است. کشور ایران نیز ۱۰/۴ درصد رشد تولید داشته است که انتظار می رود در پایان سال ۲۰۰۵ میزان تولید فولاد خام ایران از مرز ۱۰ میلیون تن بگذرد. ایران همانند همیشه بین کشورهای اسلامی رده دومی خویش را بعد از ترکیه حفظ کرده و در بین کشورهای حوزه خلیج فارس رده اول را به خود اختصاص داده است. لهستان، جمهوری چک و رومانی به ترتیب با ۱۲/۵، ۱۴/۵ و ۲۳/۵ درصد کاهش تولید مواجه بوده اند. در این میان سهم تولیدکنندگان کشورهای اسلامی در تولید فولاد جهان بالغ بر ۴/۹ درصد برآورد شده است. کشورهای آسیای شرقی چین، ژاپن، کره و تایوان ۴۵ درصد فولاد جهان را تولید می کنند. در جدول شماره ۱ تولید فولاد خام کشورهای جهان در اول سال ۲۰۰۴ و اول سال ۲۰۰۵ آورده شده است.^۲

فولاد؛ بزرگی، اهمیت، جایگاه ایران

جدول ۱- تولید فولاد خام کشورهای جهان^۳

رتبه	کشور	ژانویه ۲۰۰۴	ژانویه ۲۰۰۵
۱	چین	۲۰۱۸۳	۲۵۰۹۵
۲	ژاپن	۹۳۳۸	۹۵۱۸
۳	آمریکا	۷۸۵۲	۸۲۷۲
۴	روسیه	۵۲۹۰	۵۵۰۰
۵	کره	۳۸۰۹	۴۱۵۴
۶	آلمان	۳۹۰۸	۳۹۶۵
۷	اوکراین	۳۲۹۷	۳۲۷۸
۸	هند	۲۸۶۲	۳۰۵۱
۹	برزیل	۲۶۷۴	۲۵۸۷
۱۰	ایتالیا	۲۲۲۶	۲۴۸۲
۱۱	فرانسه	۱۷۸۲	۱۸۳۶
۱۲	ترکیه	۱۶۵۷	۱۸۰۰
۱۳	تایوان	۱۵۹۷	۱۷۰۰
۱۴	مکزیک	۱۳۵۰	۱۴۵۸
۱۵	کانادا	۱۳۶۴	۱۳۱۹
۱۶	اسپانیا	۱۳۰۰	۱۲۵۰
۱۷	انگلستان	۱۱۱۷	۱۱۶۵
۱۸	بلژیک	۹۹۵	۹۶۵
۱۹	آفریقای جنوبی	۸۰۷	۸۱۵
۲۰	لهستان	۸۸۰	۷۷۰

فولاد؛ بزرگی، اهمیت، جایگاه ایران

۷۷۱	۶۴۳	ایران	۲۱
۶۵۷	۶۵۶	استرالیا	۲۲
۶۴۶	۵۵۱	اتریش	۲۳
۶۳۲	۵۸۵	هلند	۲۴
۵۵۲	۵۲۴	سوئد	۲۵
۵۳۰	۶۲۰	چک	۲۶
۳۸۰	۳۶۵	ونزوئلا	۲۷
۳۸۰	۴۹۶	رومانی	۲۸
۳۸۰	۳۸۰	مصر	۲۹

نگاهی به وضعیت بازار و قیمت‌های انواع فولاد

صنعت فولاد در کشور ما نقش اساسی در اقتصاد و بسط توسعه ملی دارد. توسعه این صنعت، عامل موثری در رشد و شکوفایی دیگر بخشهای صنعتی، اقتصادی، اجتماعی و علمی جامعه می‌باشد. از این رو نیاز است، صنایع آهن و فولاد ایران حضوری فعال و رقابتی در عرصه تجارت داخلی و جهانی جهت تامین منافع ملی داشته باشند^۴.

در جداول ۲ و ۳ نگاهی به وضعیت قیمت فولاد در کشور و در بعضی از مناطق جهان ارایه شده است. هدف از این جدول‌ها مقایسه بین قیمت‌های جهانی محصولات فولادی و قیمت‌های داخلی این محصولات است.

فولاد؛ بزرگی، اهمیت، جایگاه ایران

جدول ۲- قیمت انواع محصولات در بازارهای جهانی

(دلار بر تن، مارس ۲۰۰۵) ۵

قیمت	محل قیمت‌گیری	انواع محصول موردنظر	نوع محصول
۳۶۰-۳۷۰	ترکیه	بیلت	شمش
۳۵۵-۳۶۵	آسیای میانه		
۳۸۰-۳۹۰	چین		
—	ترکیه	اسلب	
۴۸۰-۵۲۰	آسیای میانه		
۵۵۰-۶۰۰	چین		
—	ترکیه	گرم سنگین	ورق
۶۳۰-۶۵۰	آسیای میانه		
—	چین		
۶۱۰-۶۲۰	ترکیه	کوئل گرم	
۵۱۵-۵۹۰	آسیای میانه		
۶۲۰-۶۳۰	چین		
۷۲۰-۷۴۰	ترکیه	کوئل سرد	
۶۰۰-۶۸۰	آسیای میانه		
۷۳۰-۷۶۰	چین		
۴۷۵-۴۹۵	ترکیه	تجاری	میل‌گرد
۴۲۰-۴۴۰	آسیای میانه		
۶۲۰-۶۳۰	چین		
۴۳۰-۴۴۰	ترکیه	صنعتی	
۴۱۰-۴۲۰	آسیای میانه		
—	چین		
—	ترکیه	سبک	مقاطع
۴۵۰-۴۶۰	آسیای میانه		
۶۶۰-۶۸۰	چین		

فولاد؛ بزرگی، اهمیت، جایگاه ایران

جدول ۳- قیمت انواع محصولات فولادی در تهران

(دلار بر تن، اسفند ۸۳)

انواع محصولات	میانگین قیمت محصولات
تیر آهن	۵۱۱
میلگرد آجدار	۴۸۴
میلگرد ساده	۴۵۰
محصولات گرم ورق	۵۳۷
محصولات سرد ورق	۶۹۴
نبشی‌ها	۶۴۲
ناودانی‌ها	۶۷۶

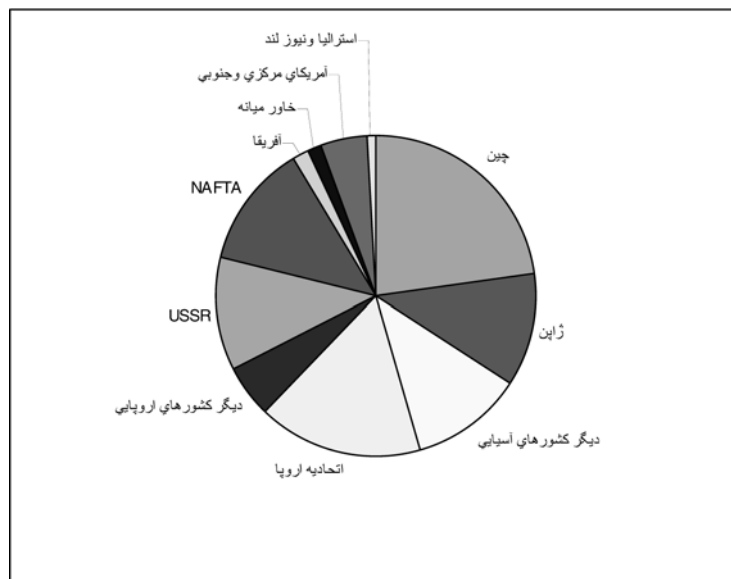
با محاسبه ساده‌ای مشاهده می‌شود قیمت‌های انواع محصولات تولیدی فولاد در بازار تهران بسیار نزدیک به قیمت در بازارهای ترکیه است؛ و این خود نشان می‌دهد که قیمت انواع محصولات فولادی در کشور شبیه قیمت‌های آنها در بازارهای جهانی است. تفاوت نه‌چندان زیاد قیمت‌های جهانی و داخلی فولاد با یکدیگر می‌تواند اطمینان مناسبی در مورد آمادگی فولاد ایران برای شرکت در بازارهای جهانی داشته باشد.

میزان مصرف فولاد در جهان سال ۲۰۰۳

توجه مناسب به توزیع مصرف فولاد در جهان می‌تواند نگاه واقع‌بینانه‌ای را در امر صادرات فولاد به کشورهای مختلف دهد. شکل ۱ نمای کلی از توزیع مصرف فولاد در سطح جهان را ارائه می‌نماید. همانطور که مشاهده می‌شود، نقش منطقه

فولاد؛ بزرگی، اهمیت، جایگاه ایران

خاورمیانه که ایران و بسیاری از کشورهای اسلامی در آن قرار دارند، تنها ۲/۶ درصد مصرف جهانی است.



شکل ۱- توزیع مصرف فولاد در جهان^۶

چین = ۲۷/۲٪

ژاپن = ۸/۶٪

دیگر کشورهای آسیایی = ۱۵/۷٪

اتحادیه اروپا = ۱۶/۴٪

دیگر کشورهای اروپایی = ۴/۶٪

کشورهای استقلال یافته از شوروی سابق (اکراین و روسیه

و دیگر کشورهای استقلال یافته)

کشورهای NAFTA (کانادا، مکزیک، ایالات متحده آمریکا)

آفریقا = ۱/۸٪

خاورمیانه = ۲/۶٪

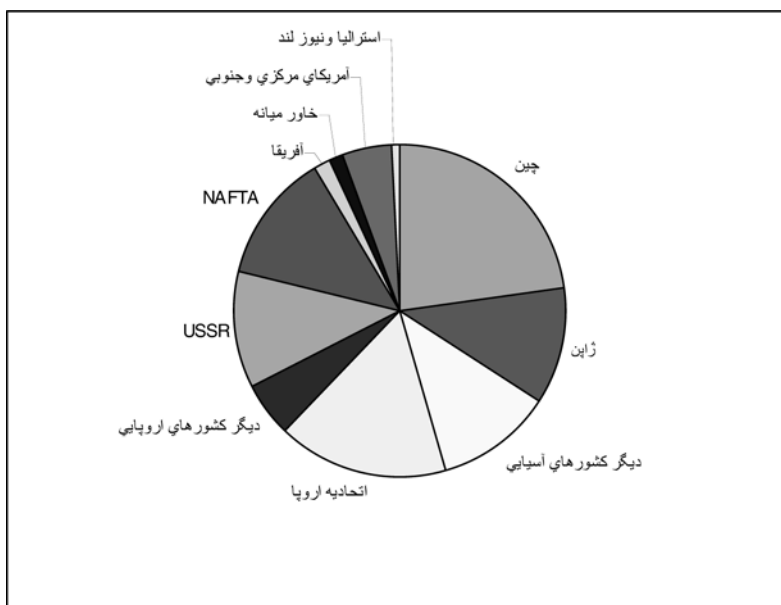
آمریکای مرکزی و جنوبی = ۴/۶٪

استرالیا و نیوزلند = ۰/۹٪

توزیع تولید فولاد در جهان در سال ۲۰۰۳

در این بخش از گزارش توزیع تولید فولاد در نواحی و مناطق مختلف جهان ارائه شده است. شکل ۲ نمایی از توزیع تولید فولاد در جهان را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، منطقه خاورمیانه با داشتن ۲/۶ درصد مصرف جهانی، تنها ۱/۴ درصد فولاد تولید می‌نماید. پس در کل این منطقه را می‌توان وارد کننده فولاد از سایر مناطق مانند ژاپن و کشورهای استقلال یافته دانست. با آگاهی به این موضوع می‌توان منطقه خاورمیانه را بازاری محلی برای تولیدات فولاد ایران دانست.

فولاد؛ بزرگی، اهمیت، جایگاه ایران



شکل ۲- توزیع تولید فولاد در جهان

فولاد؛ بزرگی، اهمیت، جایگاه ایران

چین = ۲۸/۸٪

ژاپن = ۱۱/۵٪

دیگر کشورهای آسیایی = ۱۱/۴٪

کشورهای اتحادیه اروپا = ۱۶/۶٪

کشورهای دیگر اروپایی = ۵/۴٪

کشورهای NAFTA (کانادا، مکزیک، ایالات متحده آمریکا) = ۱۲/۶٪

کشورهای استقلال یافته (روسیه، اوکراین = ۱۱/۲٪

و دیگر کشورهای استقلال یافته)

آفریقا = ۱/۷٪

خاورمیانه = ۱/۴٪

آمریکای مرکزی و جنوبی = ۴/۶٪

استرالیا و نیوزلند^۶ = ۰/۸٪



شرکت های بزرگ تولیدکننده فولاد

۱۰ شرکت بزرگ تولیدکننده فولاد دنیا در سال ۲۰۰۴ از نظر میزان تولید به ترتیب عبارتند از^۶:

رتبه	شرکت	میزان تولید (میلیون تن)
۱	Arcelor	۴۲/۸
۲	Mittal Steel	۳۵/۳
۳	Nippon Steel	۳۱/۳
۴	JFE	۳۰/۲
۵	POSCO	۲۸/۹
۶	Shanghai Basoteel	۱۹/۹
۷	Corus Group	۱۹/۱
۸	US Steel	۱۷/۹
۹	Thyssenkrupp	۱۶/۱
۱۰	Nucor	۱۵/۸

شرکت های تولیدکننده فولاد در ایران

شرکت های تولیدکننده فولاد در ایران به چهار گروه اصلی تقسیم می شوند.

۱- فولاد مبارکه

۲- ذوب آهن اصفهان

۳- فولاد خوزستان

۴- واحدهای صنعتی تابعه شرکت ملی فولاد ایران. واحدهای صنعتی تابعه شرکت ملی فولاد ایران عبارتند از: فولاد میبد، گروه ملی صنعتی فولاد ایران، فولاد کاویان، فولاد آلیاژی ایران، فولاد آذربایجان، فولاد خراسان، فولاد کرمان، نورد و لوله اهواز.

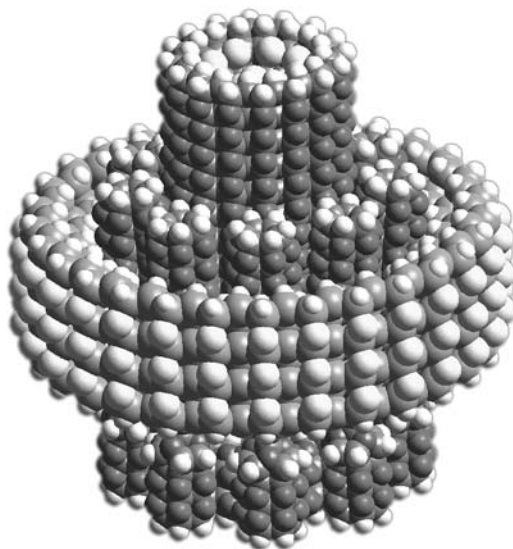
نگاهی کوتاه به برنامه ۲۰ ساله تدوین شده

برای توسعه فولاد در ایران

به منظور ارزیابی درست و واقع بینانه توانایی‌های توسعه فولاد در کشور و برنامه‌ریزی هدفمند و مناسب برای توسعه فولاد، تدوین طرحی جامع برای این صنعت در سال ۱۳۸۲ در شرکت ملی فولاد ایران آغاز شد. هدف از تدوین طرح جامع فولاد ایران، شناسایی قابلیت‌های کشور در زمینه بخش‌های مورد نیاز این صنعت از جمله مواد اولیه، انرژی، نیروی انسانی، فناوری، تجهیزات، ساختار و مدیریت مورد نیاز و نیز وضعیت موجود صنعت و کلیه صنایع مرتبط با آن و همچنین میزان عرضه و تقاضا و روند قیمت‌های تمام شده و فروش در ایران و جهان بوده است تا بتوان بر مبنای آن برنامه‌ریزی واقع بینانه و صحیحی برای آینده این صنعت انجام داد.^۷

در مرحله اول این طرح، نقش صنعت فولاد در توسعه اقتصاد کشور، اهمیت ایجاد این صنعت در کشور، سهم این بخش از تولید ناخالص داخلی و کل صنعت و تاثیر آن بر توسعه دیگر بخش‌های اقتصاد کشور و دوره‌های مختلف و مواردی از این دست مورد بررسی قرار گرفته و شاخص‌های مربوطه با شاخص‌های مشابه در تعدادی از کشورهای منتخب مقایسه شده‌اند.

در مرحله دوم با بررسی وضعیت زمین‌شناسی، استعداد کشور در زمینه منابع مواد اولیه مورد نیاز تولید فولاد مانند سنگ آهن، زغال سنگ، مواد اولیه نسوز،



مواد اولیه تولید فروآلیاژها و سایر مواد مصرفی در صنعت فولاد، ارزیابی گردیده است. نتایج ارزیابی‌ها نشان می‌دهند که ذخایر سنگ آهن ایران حدود یک درصد و ذخایر زغال سنگ کشور حدود ۰/۳ درصد کل ذخایر جهان است؛ با توجه به این میزان ذخیره ادعا می‌شود، در حال حاضر میزان تولید فولاد کشور کمتر از ظرفیت‌های کشور است.

در مرحله سوم چگونگی تهیه و تولید مواد اولیه مورد نیاز صنعت فولاد یعنی وضعیت معادن تولیدکننده انواع مواد اولیه بویژه انواع سنگ آهن، زغال سنگ، مواد اولیه و فرآورده‌های نسوز و فروآلیاژها، در ابعاد مختلف مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. در مرحله چهارم با هدف شناخت وضعیت موجود صنعت فولاد کشور از طریق ارسال پرسش‌نامه به کلیه واحدهای فولاد کشور اقدام به جمع‌آوری اطلاعات در زمینه‌های میزان تولید، انواع مواد اولیه مورد نیاز، مصارف انرژی، قیمت تمام شده، صادرات و غیره گردیده است. متأسفانه در بسیاری از موارد، به دلیل ضعف مدیریت اطلاعات در واحدهای تولیدی، واحدها توانایی همکاری مطلوب را نداشته و اطلاعات مورد نظر در حد انتظار جمع‌آوری نگردیده

است. در این مرحله کلیه واحدهای تولیدی فعال، در حال تأسیس و یا غیر فعال بخش خصوصی در زمینه تولید فولاد نیز به تفکیک استان شناسایی گردیده‌اند. ضمناً آمار و اطلاعات صنعت فولاد کشور در زمینه‌های مختلف با آمار و اطلاعات مشابه در سایر کشورها نیز مقایسه و تحلیل‌های لازم صورت گرفته است.^۷

در مرحله پنجم تدوین طرح جامع فولاد، آمارها و اطلاعات مربوط به واردات، صادرات، تولید، مصرف و قیمت انواع محصولات فولادی به تفکیک در ایران و مناطق مختلف جهان در سال‌های اخیر به طور مقایسه‌ای آورده شده و پیش‌بینی‌هایی برای رشد هر یک صورت گرفته است. مشابه این آمارها و مقایسه‌ها، در مورد کشورهای منطقه نیز انجام شده تا با توجه به آنها بتوان ضمن شناخت بازارهای هدف برنامه‌ریزی مناسب برای صادرات صورت گیرد. همچنین، میزان تولید و مصرف کلیه محصولات فولادی در کشور نیز بررسی شده و بر



مبنای آن، رشد تولید و مصرف برای هر محصول برآورد شده است تا بتوان برای توسعه صنعت فولاد در آینده برنامه‌ریزی مناسب نمود. به علاوه، با جمع‌آوری داده‌های مختلف، آمار مصرف ظاهری سی‌ساله محصولات فولادی مختلف از سال ۱۳۵۲ تا ۱۳۸۲ در کشور محاسبه شده و مبنای پیش‌بینی تقاضای آتی قرار گرفته است. همچنین اختلاف پیش‌بینی تولید فولاد در برنامه‌های دوم و سوم توسعه (پیش‌بینی تولید فولاد در این برنامه‌ها حدود ۶/۷ و ۱۴/۷ میلیون تن بوده است) با مقادیر تولید شده، تعیین و در برنامه‌ریزی‌ها منظور شده است.^۷

با استفاده از آمار و اطلاعات فوق و با توجه به پیش‌بینی‌های انجام شده برای رشد اقتصادی، جمعیت، نوع ساخت‌وسازهای آینده کشور و عوامل دیگر، از طریق روش‌های برون‌یابی و اقتصادسنجی پیش‌بینی تقاضای فولاد در کشور در برنامه‌های آتی توسعه و تا سال ۱۴۰۰ صورت گرفته است. بر این اساس مصرف داخلی فولاد از ۱۳/۶ میلیون تن در سال ۱۳۸۴ به حدود ۱۸ میلیون تن در انتهای برنامه چهارم (۱۳۸۸) می‌رسد و سپس به حدود ۲۵ میلیون تن در انتهای برنامه پنجم و حدود ۳۶ میلیون تن در انتهای برنامه ششم افزایش یافته و در سال ۱۴۰۰ تقریباً ۴۱ میلیون تن خواهد شد.

علاوه بر پیش‌بینی مصرف، در راستای توسعه صادرات کشور، طرحی هم برای صادرات فولاد در نظر گرفته شده که بر اساس آن در برنامه چهارم ۱۵ درصد، پنجم ۱۷ درصد و ششم ۲۰ درصد تولید فولاد کشور صادر خواهد شد.

در مرحله ششم مطالعات، اقدام به بررسی وضعیت انرژی (آب، برق و گاز) مورد نیاز صنعت فولاد گردیده است. گزارش مرحله هفتم طرح به بررسی فناوری تولید فولاد در مراحل مختلف اختصاص یافته است در گزارش مرحله هشتم اقدام به شناسایی پتانسیل‌های جغرافیایی برای توسعه فولاد گردیده و در مرحله نهم با توجه به میزان توسعه فولاد جایگاه این بخش در اقتصاد آتی کشور بررسی شده است. سرانجام در گزارش مرحله دهم اقدام به تدوین چشم‌انداز، مأموریت، اهداف

و نهایتاً راهبردهای توسعه فولاد در ابعاد مختلف از جمله تولید، مواد اولیه، فناوری و تجهیزات، سرمایه‌گذاری، نیروی انسانی، ساختار و مدیریت، محل اجرا، محیط زیست و بازار گردیده است.^۷

توسعه صنعت فولاد در برنامه چهارم توسعه

با استفاده از مطالعات و بررسی‌های انجام شده در ده مرحله طرح جامع، برنامه پیشنهادی توسعه صنعت فولاد در برنامه چهارم توسعه تدوین گردیده است. بر اساس این برنامه ظرفیت تولید فولاد کشور تا پایان برنامه چهارم به حدود ۲۸ میلیون تن افزایش خواهد یافت که از این رقم حدود ۶ میلیون تن تحت عنوان طرح‌های انرژی بر می‌باشند و عمدتاً در مناطق جنوبی کشور احداث خواهد شد. این میزان تولید در قالب دو طرح ۱/۵ میلیون تنی و ۴ طرح ۸۰۰ هزار تنی برای سرمایه‌گذاری خارجی و بخش خصوصی پیش‌بینی شده است. جهت دستیابی به ۲۸ میلیون تن ظرفیت در پایان برنامه چهارم ضروری است معادل ۱۶/۴۵ میلیون تن ظرفیت جدید در طول برنامه ایجاد شود (۲/۱ میلیون تن آن از این مقدار به طرح‌های معوقه برنامه سوم مربوط می‌باشد) که نیاز به بیش از ۵ میلیارد دلار سرمایه‌گذاری دارد.^۷

لازم به توضیح است که توسعه فولاد در کشور در آینده با توجه به محدودیت‌های زیست‌محیطی و مواد اولیه، صرفاً با استفاده از روش احیای مستقیم صورت خواهد گرفت و تولید فولاد به روش کوره بلند و کنورتور درحد ۴/۲ میلیون تن (نوب آهن اصفهان ۳/۱۵، نوب آهن زرنج کرمان ۰/۸ و میبد ۰/۲۵ میلیون تن) متوقف خواهد شد. از سوی دیگر، با توجه به حجم کم تولید قراضه در کشور و افزایش قیمت جهانی قراضه، عمده مواد اولیه مورد نیاز برای فولادسازی از آهن اسفنجی تامین می‌شود. برای تولید آهن اسفنجی مورد نیاز، طرح‌های توسعه

استخراج معادن و نیز طرح‌های گندله‌سازی در کنار معادن پیش‌بینی شده‌اند.^۷

مواد اولیه فولاد سازی

مواد اولیه صنایع آهن و فولاد شامل سنگ آهن، قراضه، کمک ذوبها، فروآلیاژها، دیرگدازها و عوامل تولید انرژی می‌باشند که طی فرآیندهای متفاوت این مواد در فولادسازی مصرف می‌گردند.



سنگ آهن

سنگ آهن به عنوان اصلی‌ترین ماده اولیه در تولید فولاد می‌باشد که قبل از مصرف در فولادسازی در واحدهای آماده‌سازی به کلوخه یا گندله تبدیل شده و در «کوره بلند» یا «احیای مستقیم» طی واکنش‌های احیاء به آهن ناخالص تبدیل شده و با مصرف در کوره‌های فولادسازی همراه با سایر مواد تصفیه شده و فولاد تولید می‌گردد.

آهن چهارمین عنصر موجود در کره زمین است. هر سنگ معدن که دارای آهن باشد سنگ آهن نامیده می‌شود ولی تمام سنگ‌های آهن‌دار را نمی‌توان به عنوان کانه آهن شناخت چون باید استخراج آن اقتصادی و مقرون به صرفه باشد. میزان ذخیره احتمالی سنگ آهن جهان به طور تقریبی ۳۰۰ میلیارد تن برآورد گردیده که عمده آن در کشورهای استرالیا، کانادا، روسیه و هند می‌باشد. مجموع ذخایر و منابع سنگ آهن در ایران حدود ۴/۴ میلیارد تن ذخیره قطعی و ۲/۲ میلیارد تن ذخیره احتمالی و ممکن می‌باشد.^۸

الف. تولید سنگ آهن

تولید سنگ آهن در سال ۱۹۴۷ به میزان ۲۰۰ میلیون تن، در سال ۱۹۷۴ به میزان ۹۵۰ میلیون تن و در سال ۲۰۰۲ به ۱۱۲۸۵۰۰ میلیون تن افزایش یافته است. با مقایسه آمار، رشد استخراج سنگ آهن با تولید فولاد روند مشابهی داشته است. آمار ارائه شده در مورد تولید سنگ آهن در ایران تقریبی و تخمینی می‌باشد که با این شرط، در سال ۱۹۹۲ میزان استخراج سنگ آهن در ایران ۲/۶ میلیون تن بوده و این مقدار در سال ۲۰۰۲ حدود پنج برابر افزایش یافته و به حدود ۱۱ میلیون تن رسیده است که این میزان در سال ۱۳۸۲ (۲۰۰۳-۲۰۰۴) حدود ۱۲ میلیون تن در سال گزارش شده است.^۸

ب. مصرف سنگ آهن

۹۸ درصد سنگ آهن دنیا برای تولید آهن و فولاد و ۲ درصد آن برای تولید

فولاد؛ بزرگی، اهمیت، جایگاه ایران

جدول ۴- تولید و مصرف سنگ آهن جهان در سال ۲۰۰۱ (میلیون تن)^۸

کشور	مصرف سنگ آهن	تولید فولاد خام
۱۵ کشور اروپایی	۱۳۰۲۸۰	۱۵۸۶۴۲
ترکیه	۹۰۰۰	۱۴۹۸۱
سایر کشورهای اروپایی	۳۵۴۸۴	۴۵۹۱۳
کشورهای شوروی سابق	۱۱۸۷۸۹	۱۰۰۱۲۰
ایالات متحده آمریکا	۵۰۹۰۰	۹۰۱۰۴
ایران	۱۴۵۰۰	۶۹۱۶
عربستان	۳۹۰۰	۳۴۱۳
ژاپن	۱۲۶۹۲۷	۱۰۲۸۶۶
چین	۳۰۹۳۲۳	۱۵۲۲۶۰
جهان	۱۰۵۳۱۸۶	۸۴۹۶۱۷

سیمان استفاده می‌شود. آمار دقیقی از مصرف واقعی سنگ آهن در کشورهای جهان در دسترس نیست و آنچه موجود است، آمار ظاهری مصرف سنگ آهن می‌باشد. به صورت مقایسه‌ای می‌توان برآوردی از مصرف سنگ آهن و تولید فولاد ارائه نمود. به عنوان مثال طی سال ۲۰۰۲ برای تولید یک تن فولاد خام در جهان مصرف سنگ آهن بطور میانگین ۱۲۵۴ کیلوگرم بوده است. بیشترین سهم مصرف سنگ آهن مربوط به کشورهای استرالیا، چین و ایران می‌باشد و کمترین

آن در کشورهای ایالات آمریکا و اروپا بوده است. در شرایط موجود میزان سنگ آهن لازم برای تولید ۸/۵ میلیون تن فولاد خام در کشور، حدود ۱۴ میلیون تن می باشد که از این رقم ۱۲ میلیون تن آن از معادن داخلی و حدود ۲ میلیون تن از طریق واردات تأمین می گردد. بر اساس برنامه توسعه تا پایان سال ۱۳۸۸ تولید فولاد به ۲۸ میلیون تن افزایش می یابد که لازمه رساندن ظرفیت تولید فولاد به سطح پیش بینی شده، تأمین ۴۰ میلیون تن سنگ آهن است که تمامی آن از منابع داخلی تأمین خواهد شد. جدول ۴ آماری از فولاد خام در کشورهای مختلف و میزان مصرف سنگ آهن آنها برای تولید فولاد را نشان می دهد.^۷

قراضه

قراضه های آهن و فولاد به عنوان ضایعات و دورریز ماشین آلات واحدهای صنعتی و لوازم خانگی در فرآیند فولادسازی به عنوان شارژ فلزی مصرف می گردد و مصرف آن دارای مزایایی در صرفه جویی انرژی و حفظ محیط زیست می باشد. همچنین با توجه به محدود بودن منابع اولیه سنگ آهن در جهان و کمبود آن در بعضی مناطق جغرافیایی، قراضه جایگزین مناسبی در شارژ فلزی کوره های فولادسازی می باشد. طی سال های اخیر با توسعه کارخانجات کوچک فولادسازی که عمده تغذیه آنها قراضه می باشد. مشکلاتی در عرضه و تقاضای قراضه ایجاد گردیده و قراضه به عنوان یک کالا بین کشورهای جهان مبادله می شود، و در نتیجه صنعت بازیافت و تأمین قراضه نیز رونق چشمگیری یافته است. مصرف قراضه در کارخانجات مختلف فولادسازی متفاوت بوده و در مقایسه اقتصادی با سایر مواد، با درصد معینی در شارژ فلزی مصرف می گردد. بر اساس آمار سال ۲۰۰۲ برای تولید ۹۰۳ میلیون تن فولاد ۳۸۲ میلیون تن قراضه مصرف گردیده است که بطور میانگین ۴۳ درصد تولید فولاد می باشد در سال ۲۰۰۲ صادرات قراضه در جهان

فولاد؛ بزرگی، اهمیت، جایگاه ایران

جدول ۵- آمار مصرف قراضه و تولید فولاد در سال ۲۰۰۲ (میلیون تن)^۸

کشور	تولید فولاد	مصرف قراضه
اروپا (۱۵ کشور)	۱۵۸/۶	۸۶/۱
سایر کشورهای اروپایی	۴۸/۱۶	۲۹/۱
ترکیه	۱۸/۲	۱۴
کشورهای شوروی سابق	۱۰۱/۶۸	۴۴/۹
کشورهای عضو نفت	۱۲۲	۷۱/۴
جمهوری خلق چین	۱۸۲/۲	۴۰
ژاپن	۱۰۷/۷	۳۴/۴
جهان	۹۰۲/۸۵	۳۸۲/۶

۵۵۸۰۸ میلیون تن بوده که آمریکا، آلمان، ژاپن و روسیه به ترتیب با صادرات ۸/۹۵۰، ۶/۸۸۱، ۶/۰۳۰ و ۵/۷۶۰ میلیون تن بزرگترین صادرکنندگان قراضه بوده و واردات قراضه در جهان، ۶۳/۸۹۰ میلیون تن بوده که کشورهای چین، کره، بلژیک، اسپانیا و ترکیه به ترتیب با واردات ۷/۱۸۵۳، ۷/۲۲۳، ۵/۵۷۶ و ۵/۰۰۳ میلیون تن بزرگترین واردکنندگان قراضه بوده‌اند.

نسبت مصرف قراضه به تولید فولاد، در کشورهای مختلف از ۲۰ تا ۹۰ درصد متغیر بوده است. با توجه به حجم کم مصرف قراضه در تولیدات فولاد کشور با توجه به آمار و احتمالات موجود مصرف قراضه برای تولید فولاد خام در ایران ۲۵ درصد به نظر می‌رسد؛ با این حساب تولید ۲۰ میلیون تن فولاد خام مستلزم تأمین ۵ میلیون تن قراضه خواهد بود. جدول ۵ آمار تولید فولاد کشورهای مختلف و میزان مصرف قراضه آنها را برای تولید فولاد نشان می‌دهد.^۸

فروآلیاژها

خواص فولاد و چدن‌ها را می‌توان از طریق اضافه کردن فروآلیاژها و یا فلزات خالص تغییر داد و به محصولی با کیفیت و خواص مورد نیاز دست یافت. فروآلیاژها عمدتاً شامل عناصر آلیاژی می‌باشند که با مقادیر معینی آهن (Fe) تهیه شده و به صورت افزودنی به فولاد مذاب اضافه می‌گردند. در ضمن از فروآلیاژها نه تنها برای آلیاژی نمودن فولاد بلکه برای تصفیه فولاد از ناخالصی‌ها و اکسیژن زدایی و همچنین تغییر شرایط انجماد استفاده می‌گردد. عمده تولید و مصرف فروآلیاژها شامل فروسیلیسیم و فرومنگنز است. تولید فروسیلیسیم جهان طی سالهای ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ به ترتیب ۴/۲۳ و ۳/۷۲ میلیون تن بوده است که کشور چین با افزایش حدود یک میلیون تن تولید فروسیلیسیم طی ۱۰ سال گذشته، در سال ۲۰۰۳ با تولید ۱/۶ میلیون تن اولین تولیدکننده این محصول و پس از آن روسیه با ۴۸۰ هزار تن، نروژ ۳۵۰ هزار تن و آمریکا ۲۵۰ هزار تن در رتبه‌های بعد قرار دارند. بر اساس آمار موجود، بطور میانگین برای تولید هر تن فولاد حدود ۵ کیلوگرم فروسیلیسیم مصرف می‌شود با این حساب، در شرایط کنونی و به موازات برنامه تولید ۲۰ میلیون تن فولاد خام در ایران نیاز به ۱۰۰۰۰۰ تن فروسیلیسیم می‌باشد و در صورت تحقق تولید ۴۵۰۰۰ تن فروسیلیسیم، در سال ۱۳۸۳، نیاز است که حدود ۶۰۰۰۰ تن بر ظرفیت تولید فروسیلیسیم افزوده گردد.

با توجه به خواص منگنز در فولاد، مصرف فرومنگنز در فولادسازی بیشتر از فروسیلیسیم می‌باشد طی سال ۲۰۰۲ در جهان ۷/۶ میلیون تن فرومنگنز و سیلیکومنگنز تولید گردیده است. کشورهای چین، اوکراین و آفریقای جنوبی حدود ۶۰ تا ۵۰ درصد فرومنگنز جهان را تولید می‌کنند. میزان مصرف فرومنگنز برای تولید یک تن فولاد بطور میانگین در جهان ۸/۵ کیلوگرم بوده و در برنامه تولید ۲۰ میلیون تن فولاد خام در ایران، نیاز به بیش از ۱۶۰ هزار تن فرومنگنز می‌باشد که با



تولید ۲۵۰۰۰ تن در شرایط کنونی، لازم است تولید فرومگنز حدود ۱۳۰ هزار تن افزایش یابد. بدین منظور می‌بایستی به موازات برنامه‌های توسعه فولادسازی، برای افزایش ظرفیت تولید فولاد خام برای افزایش ظرفیت تولید فروآلیاژها برنامه‌ریزی گردد.^۸

دیرگذاها

دیرگذاها یا مواد نسوز به اکسیدهای فلزی و شبه فلزی گفته می‌شود که دارای نقطه ذوب بالا بوده و به صورت آجر، ملات، و قطعات شکل داده شده مصرف می‌شوند و کاربرد آنها به‌عنوان لایه محافظ دیواره کوره‌ها، مخازن، بونکرها،

راهگاهها و ظروف حمل و نقل مواد داغ و گداخته می باشند. نظر به اینکه این مواد پس از مدت کوتاهی کاربرد، تخریب شده و با مواد جدید جایگزین می گردند از آنها به عنوان مواد مصرفی فولادسازی نامبرده می شود.

صنعت تولید مواد دیرگداز در ایران همزمان با صنعت سیمان ایجاد گردید و برای اولین بار در سال ۱۳۱۸ کارخانه نسوز امین آباد در تهران با ظرفیت تولید روزانه ۵ تن مواد دیرگداز آغاز به کار کرد. با تاسیس کارخانه ذوب آهن اصفهان، نخستین واحد بزرگ مکانیزه تولید مواد دیرگداز در این کارخانه با تولید اولیه ۲۴ هزار تن آجر شاموتی و ۱۵ هزار تن محصولات قلیایی و انواع جرم احداث و در سال ۱۳۵۲ راه اندازی گردید. تا سال ۱۳۵۷ در ایران حدود ۶۰ هزار تن مواد نسوز تولید می گردید و پس از انقلاب با توسعه صنعت دیرگداز و احداث کارخانجات جدید، ظرفیت تولید مواد دیرگداز در ایران افزایش یافت و جمع ظرفیت اسمی تا پایان سال ۱۳۸۳ مقدار ۳۳۰۰۰۰ تن بوده است. در سال ۸۲، ۲۵۱۰۰۰ تن مواد دیرگداز در ایران تولید شده و پیش بینی می شود که طی سال ۸۳ به مقدار ۲۹۵۰۰۰ تن افزایش یابد. ایران با در اختیار داشتن سهمی بیش از یک درصد تولید جهانی مواد دیرگداز، رتبه اول را در میان کشورهای خاورمیانه به خود اختصاص داده است و پس از ایران، مصر و عربستان در رتبه های بعدی منطقه می باشند. مصرف مواد دیرگداز در جهان دارای یک روند نزولی می باشد که این کاهش مصرف در کشورهای صنعتی سرعت کمتری نسبت به کشورهای در حال توسعه دارد.^۸

مصرف مواد دیرگداز در صنایع فولادسازی در کشورها و کارخانجات مختلف بسته به فرآیند تولید فولاد متفاوت می باشد و بطور میانگین در سالهای اخیر برای تولید یک تن فولاد حدود ۱۵ کیلوگرم نسوز مصرف می شود که این مقدار در کشورهای در حال توسعه مانند هند ۱۱ کیلوگرم و در آمریکا حدود ۸ کیلوگرم می باشد. در کشورهای روسیه و چین که از فرآیندهای سنتی در تولید فولاد استفاده می گردد این مقدار بالاتر است، در کارخانجات فولادسازی ایران مصرف

مواد دیرگداز با میانگین جهانی فاصله چندانی ندارد. به عنوان نمونه مصرف مواد دیرگداز در مجتمع فولاد مبارکه از ۲۰/۷۱ کیلوگرم در سال ۱۳۸۰ به ۱۵/۶۷ کیلوگرم در سال ۱۳۸۲ کاهش یافته است. سهم واردات در مصرف مواد دیرگداز در ایران طی سال ۱۳۸۱ مقدار ۵/۵ درصد، شرکت فرآورده‌های نسوز آذر ۳۸ درصد، نسوز ایران ۱۸/۷ درصد، نسوز پارس ۱۲ درصد، نسوز تبریز ۸/۱ درصد، دیرگداز ایران ۶/۷ درصد و سایر تولیدکنندگان ۱۱ درصد بوده‌اند.

بر اساس اطلاعات موجود ۶۵ درصد مواد دیرگداز در ایران در صنایع فولادسازی، ۷ درصد در صنایع سیمان، ۷ درصد در صنایع پتروشیمی، ۶ درصد در صنایع غیر آهنی، ۵ درصد در صنایع سرامیک و حدود ۱۰ درصد در سایر صنایع مصرف می‌شود. با احتساب میانگین جهانی در مصرف دیرگداز، در برنامه تولید ۲۰ میلیون تن فولاد نیاز به ۳۰۰ هزار تن مواد دیرگداز می‌باشد و اگر سایر صنایع نیز مطابق رشد فولاد افزایش داشته باشند در سال ۲۰۰۹ کشور نیاز به ۵۰۰ هزار تن مواد دیرگداز خواهد داشت.^۸

روش‌های تولید فولاد

فولاد، اغلب از چدن مذاب که احیای مستقیم سنگ آهن یا قراضه است، به دست می‌آید. سه روش اصلی تولید فولاد عبارتند از:

الف) روش فولادسازی بوسیله اکسیژن (روش بسمر)

ب) روش کوره الکتریکی

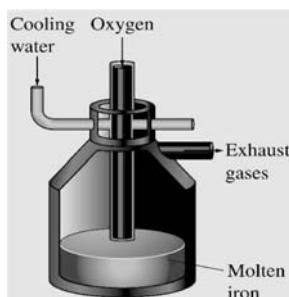
ج) روش کوره باز (روش زیمنس مارتین)

در هر کدام از این روش‌ها، مواد اولیه در یک کوره قرار می‌گیرند که در آن واکنش‌های لازم به منظور ساختن فولاد خالص شده انجام می‌شود. مقدار فولاد تولید شده در این سه روش بسیار با یکدیگر متفاوت است. در روش فولادسازی با

اکسیژن، ساختن فولاد در مدت ۴۵ دقیقه صورت می‌گیرد. در روش الکتریکی، همین عمل در مدت چهار ساعت و در روش سوم در مدت هشت ساعت انجام می‌شود. کوره‌های تولید فولاد، از ظرفیت تولید کمتر از ۴۵ تن تا بیشتر از ۴۵۰ تن تقسیم‌بندی می‌شوند.

الف) روش فولادسازی بوسیله اکسیژن

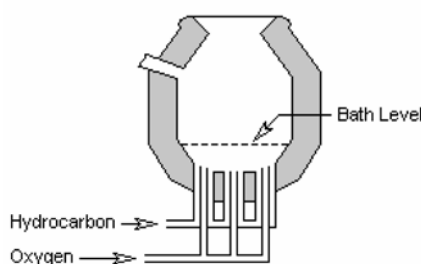
در این روش، فولاد بوسیله دمیدن اکسیژن در فشار زیاد به داخل چدن مذاب و آهن قراضه به دست می‌آید. این روش جایگزین روش‌های قدیمی شده است و اکنون حدود ۶۰ درصد فولاد جهان به این روش تولید می‌شود. شکل ۳ تصویر شماتیکی از این کوره را نشان می‌دهد. کوره فولادسازی بوسیله اکسیژن (BOP) از یک ظرف گلابی شکل فولادی همراه با یک دهانه و یک بدنه مقاوم حرارتی تشکیل می‌شود. مواد اولیه کوره شامل حدود ۷۵ درصد چدن مذاب و ۲۵ درصد فولاد قراضه است. بعد از چرخش کوره و پر کردن آن از قراضه، یک ظرف حاوی چدن مذاب را اضافه کرده و کوره را به حالت اول باز می‌گردانند، سپس یک لوله اکسیژن را به منظور دمیدن اکسیژن خالص به مواد اولیه، به سمت پایین و به طرف کوره هدایت می‌کنند. لوله در هر دقیقه حدود ۸۵۰ مترمکعب اکسیژن را عبور می‌دهد. اکسیژن در مواد مذاب نفوذ می‌کند و به سرعت با چدن و ناخالصی‌ها ترکیب می‌شود.



شکل ۳- کوره BOP^۹

فولاد؛ بزرگی، اهمیت، جایگاه ایران

در طول دهه ۱۹۷۰ بعضی سازندگان فولاد، شروع به استفاده از یک روش جدید تولید فولاد بوسیله اکسیژن نمودند که در آن اکسیژن از طریق دهانه‌هایی در انتهای کوره به مواد اولیه دمیده می‌شود. این روش که Q-BOP نامیده می‌شود، در اروپا بنیان نهاده شد و بعداً در ایالات متحده تکامل یافت. شکل ۴ تصویر شماتیکی از این روش را نشان می‌دهد. در این روش، مواد گدازنده به صورت پودر در می‌آیند و همراه با اکسیژن اضافه می‌شوند. واحد Q-BOP هیچ لوله اکسیژنی مانند روش قبل ندارد.^{۱۰}



شکل ۴- کوره Q-BOP^{۱۰}

ب) روش کوره الکتریکی

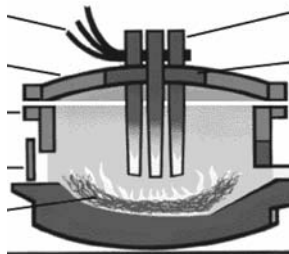
در این روش از جریان الکتریسیته برای تولید حرارت مورد نیاز برای ساختن فولاد استفاده می‌شود. انواع مختلفی از کوره الکتریکی وجود دارد، اما کوره قوس الکتریکی بیشترین کاربرد را داراست و چنین کوره‌هایی جایگزین بسیاری از انواع کوره‌ها شده‌اند. علت آن است که این کوره‌ها به طور موثری عمل می‌کنند و هزینه ساخت آنها از کوره‌های دو روش (کوره اکسیژن و کوره باز) دیگر کمتر است. کوره قوس الکتریکی شامل یک ظرف استوانه‌ای کم عمق همراه با بدنه‌ای مقاوم است. سقف کوره دارای سوراخ‌هایی است که در میان آنها سه میله کربنی به نام الکترود

فولاد؛ بزرگی، اهمیت، جایگاه ایران

جدول ۶- تولید فولاد برحسب روشهای مختلف در سال ۲۰۰۳^۷

کشور	درصد کوره باز	درصد اکسیژن	درصد الکتریکی
جمع کشورهای اتحادیه اروپا	—	۴۰/۵	۵۹/۵
ترکیه	—	۶۸/۹	۳۱/۴
روسیه	۲۳/۷	۱۴/۹	۶۱/۴
اوکراین	۴۵/۹	۵/۴	۴۸/۶
جمع کشورهای استقلال یافته	۳۰/۱	۱۳/۱	۵۶/۸
ایالات متحده آمریکا	—	۴۸/۹	۵۱/۱
ایران	—	۷۱/۲	۲۸/۸
عربستان سعودی	—	۱۰۰/۰	—
خاور میانه	—	۸۲/۸	۱۷/۲
چین	۰/۰	۱۶/۷	۸۳/۲
ژاپن	—	۲۶/۴	۷۳/۶
کره جنوبی	—	۴۴/۸	۵۵/۲
جهان	۳/۶	۲۳/۱	۶۳/۳

قرار دارد. یک جریان الکتریکی قوی از هر الکتروود به مواد اولیه می‌دهد. این جریان بین الکتروودها نیز برقرار است و باعث ایجاد حرارت زیادی می‌شود که به سرعت مواد اولیه را ذوب می‌کند و فرآیندهای شیمیایی تولید فولاد را شدت می‌بخشد. شکل ۵ تصویر کلی ای از کوره الکتریکی را نشان می‌دهد.



شکل-۵ کوره الکتریکی^{۱۱}

مواد اولیه کوره شامل مقدار فراوانی فولاد قراضه و مواد آلیاژی است. سازندگان فولاد به ندرت چدن را در این نوع کوره‌ها به کار می‌برند. پس از آنکه مواد اولیه ذوب شدند، مواد آلیاژی به آنها اضافه می‌شوند. فولاد مذاب به دست آمده از طریق یک سوراخ مخصوص که در انتهای کوره قرار دارد تخلیه می‌شود. کوره‌های قوس الکتریکی برای ساختن فولادهای آلیاژی و فولادهای ابزار، نیز بسیار مناسب هستند. این نوع فولادها نیاز به افزودن عناصر آلیاژی دارند که به آسانی با اکسیژن ترکیب می‌شوند. چنین عناصری به عنوان مثال کرم و وانادیم در دو روش دیگر به سرعت اکسیده می‌شوند و در تفالیه به دست آمده محو می‌گردند. اما در روش الکتریکی، چون تفالیه اکسیژن ناچیزی نیاز دارد، عناصر آلیاژی اکسیده



نمی‌شوند. در مجتمع فولاد مبارکه، فولاد با روش احیاء مستقیم و با کوره‌های قوس الکتریکی تولید می‌شود و سوخت و انرژی آن با گاز طبیعی و برق تأمین می‌گردد.^۱

ج) روش کوره باز

علت نامگذاری این روش آن است که آتش‌دان کوره در برابر شعله‌هایی که مواد اولیه را ذوب می‌کنند، کاملاً باز است. هر کوره باز دارای یک سوزاننده سوخت و یک اتاقک است که به اتاقک شطرنجی معروف است. هنگامی که قسمت سوزاننده یک طرف آتش می‌گیرد، گازهای خروجی از طریق اتاقک شطرنجی طرف مقابل خارج می‌شوند. این گازهای گرم، اتاقک شطرنجی را گرم می‌کنند. کوره به طور خودکار هر ۱۵ دقیقه، قسمت سوزاننده را عوض می‌کند و جریان گازها از طریق کوره وارونه می‌شود. بنابراین، هوا در حرکت به طرف آتش‌دان از قبل گرم شده است، زیرا از میان اتاقک شطرنجی گرم عبور کرده است. اغلب کوره‌های باز دارای یک لوله اکسیژن در قسمت سقف هستند. نقش اکسیژن خالص، افزایش دما و سرعت ذوب کردن است. کوره باز می‌تواند چدن خام و آهن قراضه را به نسبت‌های متفاوت ذوب کند. اما اغلب سازندگان فولاد، آنها را به نسبت مساوی به کار می‌برند.

در روش کوره باز هزینه سوخت مصرفی بالا است و فولاد به کندی تولید می‌گردد. این روش همچنان مقادیر زیادی گاز زاید ایجاد می‌کند که به منظور کاهش آلودگی هوا باید نابود گردد. به دلایل فوق روش کوره باز از سال ۱۹۵۰ به تدریج کنار گذاشته شده است. در جدول شماره ۶، تولیدات فولاد خام کشورهای جهان بر حسب روشهای مختلف در سال ۲۰۰۳ آورده شده است.^۱

باتوجه به آمار و ارقام موجود در روشهای فولادسازی، با مقایسه بزرگترین تولیدکنندهای دنیا کشورهایمانند ژاپن و چین با ایران مشاهده می‌شود که

روشهای فولادسازی در این کشورها بیشتر الکتریکی است. دلیل آن این است که مواد اولیه کوره‌های الکتریکی قراضه است و ماده اصلی مصرفی در کوره الکتریکی قراضه است. باید توجه داشت بسیاری از فولادهای آلیاژی به روش کوره الکتریکی ساخته می‌شوند که می‌تواند یکی دیگر از دلایل رویکرد این کشورها به فرآیند کوره الکتریکی به خاطر ارزش افزوده‌ای که فولادهای آلیاژی دارد، باشد.

مراجع

۱. فولاد مبارکه، آشنایی با صنعت فولاد، ۱۳۷۹
۲. ح. آ. اویکس، فولادسازی در کوره‌های زیمنس و مارتین کنورتور، احمد پاک‌نژاد، ۱۳۶۶
3. www.tme.com
۴. مطالعات طرح جامع فولاد ایران؛ تعیین اهداف و استراتژی توسعه صنایع آهن و فولاد کشور؛ گزارش مرحله دهم؛ کارفرما: شرکت ملی فولاد ایران
۵. شرکت ملی فولاد، قیمت‌های فولاد در داخل و خارج کشور، ۱۳۸۳
6. www.worldsteel.com
7. www.itan.ir
۸. دکتر ک. آذربایجانی و دکتر ف. یکتاش، سمپوزیوم فولاد ۸۳، تولید و مصرف مواد اولیه صنایع فولادسازی در ایران و جهان، اسفندماه ۱۳۸۳
9. www.ipact.com
10. www.feurfest-siteburg.com
11. www.mobarakeh.com

فناوری نانو؛ فناوری بی‌بدیل فردا

فناوری بی‌بدیل، فناوری آینده‌ساز، فناوری هزاره سوم و فناوری مولکول به مولکول، تنها بخشی از القابی است که به فناوری نانو داده شده است که هر یک برای فهم اهمیت آن کافی است. فناوری‌ای با دامنه‌ای گسترده در حوزه‌های مختلف صنعت که نمی‌توان ادعا کرد در کدام حوزه کاربرد ندارد. نانو چیست؟ فناوری نانو چه معنایی دارد؟ حوزه‌های کاربردی امروز این فناوری کدامند؟ دولت‌ها چه برنامه‌هایی را به این فناوری اختصاص داده‌اند؟ سوالاتی که با آگاهی نادرست یا کم از آنها، احتمال لغزش در راه این فناوری اندک نیست.

فناوری نانو چیست؟

فناوری نانو عبارت است از خلق مواد، قطعات و سیستم‌هایی مفید با کنترل آنها در مقیاس طولی نانومتر و بهره‌برداری از خصوصیات و پدیده‌های جدید حاصله



در آن مقیاس^۱.

یک نانومتر چیست؟

نانومتر یک میلیاردیم یک متر (10^{-9} m) می‌باشد. این اندازه تقریباً چهار برابر قطر یک اتم منفرد می‌باشد. یک مکعب با طول وجه $2/5$ نانومتری در حدود 1000 اتم را در خود جای می‌دهد، کوچکترین مدارات مجتمع کنونی 250 نانومتر می‌باشد که شامل یک میلیون اتم در یک لایه مربعی با ارتفاع اتمی می‌باشد. پروتئین‌ها، مولکول‌هایی که واکنش‌های شیمیایی را در سلول‌ها تسهیل می‌کنند، 1 تا 20 نانومتر اندازه دارند. ضخامت شیئی با اندازه تقریبی 10 نانومتر، هزار برابر کوچکتر از قطر تار موی انسان می‌باشد.

اهمیت فناوری نانو

فناوری نانو اجازه خواهد داد که اجزا و مجموعه‌هایی را داخل سلول‌ها جای داده و مواد جدیدی با استفاده از روش‌های خودترکیبی طبیعت ساخته شود. در «خودترکیبی»، اطلاعات مورد نیاز برای ترکیب اجزای مواد روی سطوح خود مواد قرار خواهد داشت و هیچ روبات یا وسیله‌ای برای قرار دادن اجزای مواد کنار هم لازم نیست! این ترکیب قدرتمند علم مواد و علم زیست‌شناسی باعث بوجود آمدن فرآیندها و صنایع جدیدی خواهد شد. ساختارهای نانومقیاس نظیر نانوذره‌ها و نانولایه‌ها دارای نسبت‌های سطح به حجم خیلی بالایی هستند و بنابراین اجزای ایده‌آلی برای استفاده در مواد کامپوزیت، واکنش‌های شیمیایی، انتقال دارو و ذخیره انرژی می‌باشند. سرامیک‌های نانو ساختاری اغلب از سرامیک‌های ساخته شده در مقیاس میکرون که هزار برابر بزرگتر از انواع نانومتری می‌باشند و به سختی با چشم انسان قابل رؤیت هستند، سخت‌تر و محکم‌ترند. کاتالیزورهای نانومقیاس

بازده واکنش‌های شیمیایی و احتراق را افزایش داده و در همان حال آلودگی و مواد زاید را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهند. بیش از نیمی از داروهای مفید امروزی در مقیاس میکرون قابل حل در آب نیستند، در صورتیکه به احتمال زیاد اگر در اندازه‌های نانومتر باشند در آب حل خواهند شد. بنابراین نانوساختارسازی شانس یافتن داروهای جدید کاربردی‌تر را می‌دهد. به خاطر اینکه نانوساختارها خیلی کوچک هستند، می‌توانند در ساخت سیستم‌هایی به کار برده شوند که تراکم اجزاء خیلی بیشتری نسبت به انواع مقیاس میکرون دارند.

تاریخچه فناوری نانو

تاریخ نانومواد بعد از انفجار بزرگ شروع شد؛ یعنی زمانی که مواد نانوساختار در شهاب‌سنگ‌ها ساخته شدند. بعدها طبیعت مواد نانوساختار زیادی را مانند صدف‌ها، اسکلت جانداران و بسیاری از گیاهان ساخت. ذرات دود نانوساختار در طی استفاده انسان‌های اولیه از آتش توسط انسان ساخته شد. اما داستان علمی نانومواد بسیار بعد شروع شد. یکی از اولین گزارش‌های علمی درباره ذرات طلائی کلوئیدی بود که توسط میکائیل فارادی (Michael Faraday) در سال ۱۸۵۷ منتشر شدند. کاتالیزورهای نانوساختار حدود ۷۰ سال پیش بررسی شدند. در دهه ۱۹۴۰ نانوذرات فومی و رسوبی سیلیکا تولید و در کشورهای آمریکا و آلمان به عنوان جایگزینی برای کربن سیاه به عنوان تقویت لاستیک فروخته شدند.

ذرات آمورف سیلیکا با اندازه نانومتری کاربردهای زیادی در محصولات روزمره از خامه قهوه گرفته تا چرخ اتومبیل و پایه‌های کاتالیزورها، پیدا کردند. در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ نانوپودرهای فلزی برای نوارهای ضبط مغناطیسی توسعه یافتند.

اما احتمالاً مهم‌ترین روز تاریخی فناوری نانو به سال‌های ۱۹۵۹ برمی‌گردد که به وسیله برنده جایزه نوبل، ریچارد فاینمن، در یک سخنرانی مشهور به نام "آن

پایین فضاهاى بسيارى است" مطرح شد. فايمن ايده خودش را از بيولوژى گرفت كه چرا سيستم‌هاى بيولوژيكي مى‌توانند فوق‌العاده كوچك باشند. او گفت: "بيشتر سلول‌ها كوچك اما فعال هستند، آنها اجزا را مى‌سازند، حركت مى‌كنند، تكان مى‌خورند و همچنين اطلاعات را نخيره مى‌نمايند. تمام اين كارها، در مقياس كوچك انجام مى‌گيرد. طبق اين مورد ما مى‌توانيم چيزها را بسيار كوچك بسازيم كه هر چه ما مى‌خواهيم انجام دهند." فايمن در مورد فناورى نانو صحبت كرد قبل از آنكه كلمه آن ابداع شود. تا اينكه در سال ۱۹۷۴ واژه فناورى نانو توسط يك دانشمند ژاپنى به نام "تانيگوچى" به كار رفت. خلاصه‌اى از تاريخچه فناورى نانو به شرح زير است:

سخنرانى ريچارد فايمن در سال ۱۹۵۹: "آن پايين فضاى بسيارى است"

به كار رفتن واژه فناورى نانو توسط تانيگوچى در سال ۱۹۷۴

اختراع دستگاه STM در سال ۱۹۸۱

كشوف مولكول C₆₀ در سال ۱۹۸۵

اختراع دستگاه AFM در سال ۱۹۸۶

كشوف نانولوله‌هاى كربنى در سال ۱۹۹۱

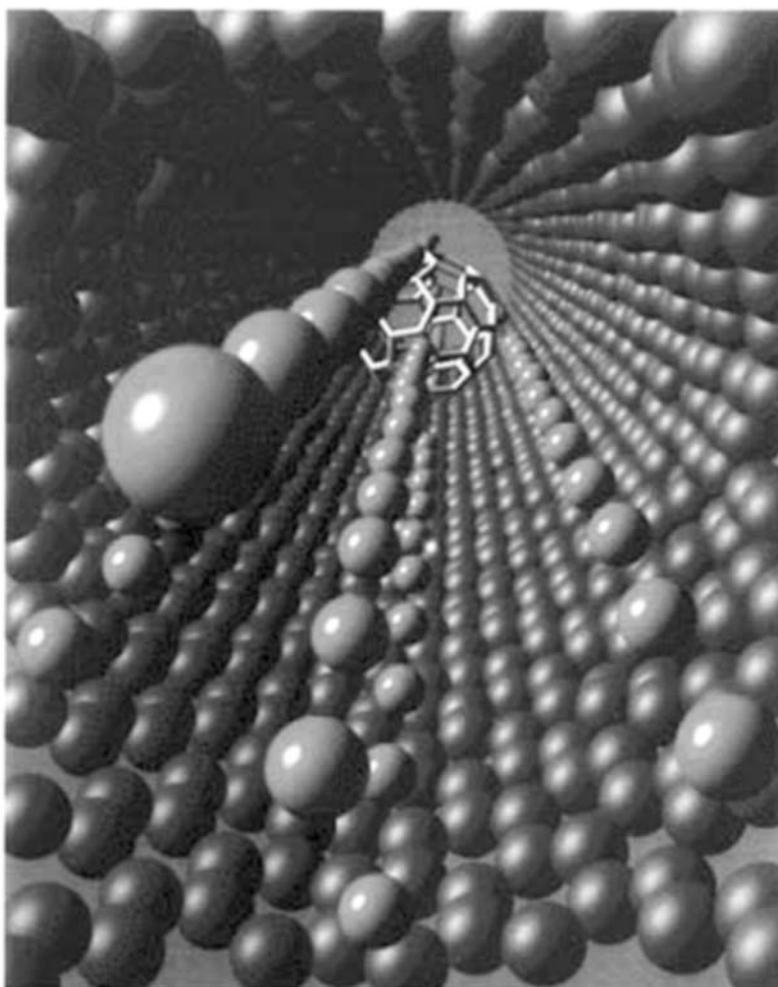
شروع برنامه ملي نانو تكنولوژى آمريكا در سال ۲۰۰۰

آيا فناورى نانو پديده‌اى جديد است؟

بسيارى از فناورى‌هاى كنونى به فرآيندهاى نانومقياسى وابسته‌اند. عكاسى و كاتاليزور دو مثال از فناورى‌هاى قديمى مى‌باشند كه به طور تجربى و با وجود توانايى محدود مخترعشان براى اندازه‌گيرى و كنترل مواد در نانومقياس توسعه يافته‌اند. اين دو فناورى در اثر پيشرفت‌هاى نانوفناورى، به سرعت بهبود مى‌يابند. بسيارى از فناورى‌هاى موجود مبتنى بر مقياس نانومتري به طور تصادفى كشف

شده‌اند و برای بسیاری، نقش ایفا شده توسط مقیاس نانومتر تا چندی پیش درک نشده بود. به عنوان مثال، هم‌اکنون ما می‌دانیم که اضافه کردن رس‌های معدنی خاصی به لاستیک به طور قابل ملاحظه‌ای طول عمر و خصوصیات پوششی تایرها را بهبود می‌دهد؛ زیرا ذرات خاک رس انتهای مولکول‌های پلیمری را که همان رشته‌های مولکولی هستند بسته و از ریش ریش شدن آنها جلوگیری می‌کنند. این یک فرآیند ساده می‌باشد، اما بهبود خصوصیات مواد کامپوزیتی، لاستیک و خاک رس، پتانسیل عظیم موجود در فناوری نانو را برای استفاده در سیستم‌های پیچیده‌تر در سطح ملی نشان می‌دهند. مثالی از چنین سیستمی یک ساختار سخت و غیرشکننده می‌باشد که وقتی شکاف‌های کوچکی در آن ایجاد می‌شود، توانایی خودتعمیری دارد و هنگام بازیافت به راحتی به بخش‌های کوچک (به اجزاء) شکسته می‌شود.

بیش از یک قرن است که شیمی‌دان‌ها توانایی کنترل و سازماندهی تعداد بسیار کمی از اتم‌های درون مولکول‌ها را داشته‌اند، تا مولکولی با رفتار مشخص با مقیاس طولی کمتر از $1/5$ نانومتر بسازند. این عمل به دگرگونی‌های عمیقی در طراحی داروها، پلاستیک‌ها و حوزه‌های دیگر منجر شده است. در چندین دهه گذشته الگودهی مبتنی بر فتولیتوگرافی (فرآیند اولیه ساخت و تولید در صنعت نیمه هادی) در مقیاس میکرون انقلابی در میکروالکترونیک ایجاد کرده است. توانایی آنالیز، سازمان‌دهی و کنترل مواد به طور همزمان در بسیاری از مقیاس‌های طولی از جمله نانو فقط در ده سال گذشته ممکن بوده است. فناوری نانو رفته‌رفته امکان آن را فراهم می‌آورد، که شکاف میان مقیاس اتمی/مولکولی و میکروفناوری پرشده و بتوان ماده را در هر مقیاس طولی مهمی کنترل نمود و قدرت عظیمی را در طراحی مواد فراهم آورد. مهم است به یاد داشت که آشنا‌ترین ساختارهای پیچیده مواد یعنی همان ارگانیزم‌های زنده به الگوهای خاصی از مواد در مقیاس مولکولی، نانومتری، میکرونی، میلی‌متری و متری به طور همزمان نیاز دارند.



با پیرایش ساختار مواد در مقیاس نانو، امکان آن فراهم خواهد آمد تا خصوصیات مواد را به طور چشمگیری در ابعاد بزرگتر تغییر داد. از نظر مهندسی مواد سیستم‌های بزرگ‌تر تشکیل شده از اجزای مقیاس نانومتر، خصوصیات کاملاً جدیدی خواهند داشت که قبلاً در طبیعت وجود نداشته است. همچنین بشر خواهد توانست کامپوزیت‌ها یعنی مخلوطی از ذرات نانومقیاس مختلف را که دارای خصوصیات و رفتار مطلوب هستند، با هم ترکیب کرده و خصوصیتی را که توسط طبیعت ایجاد نشده است، ایجاد کند. بنابراین نانوفناوری شامل دسته‌ای اصول،

ابزارها و فرآیندهای انقلابی است که نهایتاً اساس و پایه کاربردهای متفاوتی همچون جوهرها و رنگ‌ها، پوشش‌های محافظ، پزشکی، الکترونیک، ذخیره و کاربرد انرژی، مواد سازه‌ای و بسیاری دیگر که حتی انتظارش نمی‌رود، خواهد بود.

نگاه به آینده؛ درس‌هایی از گذشته

یک تجربه مهم از قرن بیستم این است که پیش‌بینی وضعیت یک فناوری به خصوص برای چند دهه آینده اغلب متفاوت با آن چیزی است که در عمل اتفاق می‌افتد. یک مثال معروف برای پیش‌بینی یک فناوری در شماره مارس ۱۹۴۹ مجله Popular Mechanics بود که در آن چندین متخصص با اطمینان پیش‌بینی کردند که کامپیوترهای آینده خواهند توانست ۵۰۰۰ عدد را در هر ثانیه جمع کرده، فقط ۳۰۰۰ پوند وزن داشته و تنها ۱۰ کیلووات توان مصرف‌کنند. اگر چه این حرف در آن زمان یک پیش‌بینی جسورانه بود ولی اکنون که کامپیوترهای کتابی می‌توانند با تقریباً یک وات توان مصرفی چندین میلیون عدد را در هر ثانیه جمع کنند، پیش‌پا افتاده می‌نماید. یکی دیگر از پیش‌بینی‌های مشهور دهه پنجاه این بود که کل بازار کامپیوترهای الکترونیکی کمتر از ۱۰ عدد خواهد بود، در صورتیکه هم‌اکنون تقریباً یک میلیارد میکروپردازنده به عنوان قطعات کلیدی کامپیوترها، تلفن‌های همراه، خودروها، وسایل بازی، وسایل تصویربرداری پزشکی و بسیاری کاربردهای دیگر در حال کار می‌باشند. صنعت کامپیوتر یکی از عظیم‌ترین صنایع می‌باشد که حجم وسیعی از صادرات را تشکیل داده و مشاغل پردرآمد را فراهم می‌آورد. این صنعت همچنین صنایع مهم و عظیم دیگری نظیر صنعت نرم‌افزار را که در ۵۰ سال قبل وجود نداشت، گسترش داده است.

محققان Popular Mechanics نتوانستند ظهور صنعت اطلاعات را پیش‌بینی کنند

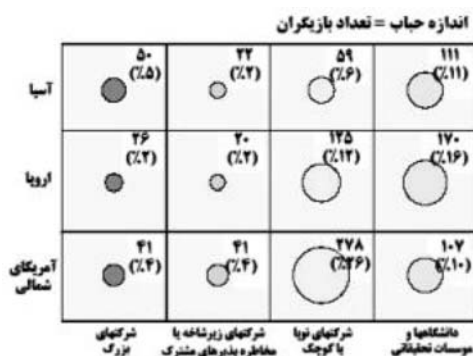
چون آنها فقط انتظار تغییرات تکاملی را داشتند. پیش‌بینی آنها برای آینده کامپیوترها احتمالاً درست از آب در می‌آمد اگر کامپیوترها هنوز با لامپ‌های خلاء و رله‌ها ساخته می‌شدند. با این وجود، یک انقلاب یک‌پارچه در یک دهه بعد از آن، خبر از یک عصر جدید صنعتی به نام عصر سیلیکون و اطلاعات را می‌داد. انتظار می‌رود که تاثیرات اجتماعی فناوری نانو بسیار بیشتر از مدارات مجتمع سیلیکونی باشد زیرا کاربرد آن در بسیاری از رشته‌ها و نه تنها الکترونیک خواهد بود. بهبود عملکرد محصولات و پیشرفت‌های ساخت و تولید منجر به تحولات صنعتی بسیاری در قرن ۲۱ خواهد شد. فناوری نانو ظرفیت آن را دارد که طبیعت تقریباً تمام اشیای ساخت بشر را تغییر دهد؛ زیرا کنترل در نانومقیاس به معنی بهره‌گیری از خصوصیات، پدیده‌ها و فرآیندهای اساسی در همان مقیاسی است، که خصوصیات زیستی، شیمیایی و الکترونیکی تعیین می‌شوند.

سیاست‌گذاری فناوری نانو در جهان

بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه (در حدود ۳۰ کشور)، برنامه‌هایی را در سطح ملی برای پشتیبانی از فعالیتهای تحقیقاتی و صنعتی فناوری نانو تدوین و اجرا می‌نمایند. این برنامه‌ریزی‌ها به این سبب است که فناوری نانو به عنوان انقلابی در شرف وقوع، آینده اقتصادی کشورها و جایگاه آنها در جهان را تحت تأثیر جدی قرار خواهد داد و این مسأله در این کشورها توسط صاحب‌نظران و محققان تبیین شده و برای مدیران اجرایی به صورت یک امر شفاف و قطعی درآمده است.^۲ در بخشی از این کشورها، در یکی دو سال اخیر تحرکات شدیدی از طرف دولت‌ها برای سرعت بخشیدن به توسعه فناوری نانو صورت گرفته و فعالیتهایی که تا قبل از این به صورت خودجوش توسط محققان انجام می‌گرفته است، با تشویق و حمایت‌های مستقیم دولت ادامه یافته‌اند.

فرصت‌های موجود در بخش فناوری نانو

فناوری نانو فرصت‌های متعدد و مختلف تجاری و اقتصادی را فراهم کرده و خواهد کرد. به طور کلی در حوزه فناوری نانو سازمان‌های بزرگ در مطالعات خود برای سرمایه‌گذاری روی فناوری‌های درازمدت به دنبال کاربردهایی از فناوری نانو هستند که از میزان سوددهی بالایی برخوردار باشند. این سازمان‌ها همچنین به دنبال راه‌هایی برای کاهش هزینه‌ها می‌باشند تا سهم خود را در بازار افزایش دهند. از سوی دیگر، شرکت‌های نوپا به دنبال بکارگیری فناوری‌هایی هستند تا سهمی از بازار را در اختیار گرفته یا بازارهای موجود را متلاشی کنند و به این شکل توجه خریداران حریص را جلب کنند. بلوک‌های اقتصادی به علت آگاهی از مزایای اقتصادی مصارف گوناگون فناوری نانو، برای تفوق بر یکدیگر رقابت می‌کنند و سازمان‌های عمومی سعی می‌کنند تعداد بیشتری از حلقه‌های زنجیره ارزش را تصاحب کنند.



شکل ۱- رقابت جهانی. انواع بازیگران بخش فناوری نانو

در بلوکهای اقتصادی رقیب^۳

شکل ۱ تفاوت‌های سرمایه‌گذاری در فناوری نانو در آمریکا، اروپا، ژاپن و آسیا را نشان می‌دهد. بیشتر سرمایه‌گذاران در آمریکا شرکتهای نوپای متکی بر سرمایه مخاطره‌پذیر در عرصه نانومواد می‌باشند که از دانشگاه‌ها مشتق شده و از وجوه عمومی ریشه گرفته‌اند. در ژاپن نیز "کیرتسوه‌های" بزرگ (ابرشرکت‌های ژاپنی) در بسیاری از زمینه‌ها فعال هستند.

بسیاری از صاحب‌نظران و محققان، فناوری نانو را مساوی آینده دانسته‌اند. به عنوان نمونه کمیته مشاوران رئیس‌جمهور آمریکا در علوم و فناوری در تأیید برنامه ملی فناوری نانو برای سال ۲۰۰۱، از فناوری نانو به عنوان محور آینده جهان یاد می‌کند. به دلیل تأثیرات این فناوری بر اکثر فناوریهای موجود، عقیده صاحب‌نظران این است که متخصصان رشته‌های مختلف بدون گرایش به مباحث مقیاس نانو در دهه‌های آینده فرصتی برای رشد نخواهند داشت و شکوفایی بسیاری از فناوریهای مهم از جمله فناوری اطلاعات و بیوتکنولوژی به عنوان دو دستاورد بسیار عظیم قرن بیستم بدون بهره‌گیری از فناوری نانو دچار اختلال خواهند شد. از این جهت این مسئله برای دانشگاهیان، محققان و مسؤولان هر کشور امری حیاتی است.^۲

کاربردها و محصولات فناوری نانو

ماهیت فرارشته‌ای علوم و فناوری نانو به عنوان توانمندی تولید مواد، ابزارها و سیستمهای جدید با دقت اتم و مولکول، موجب تعریف کاربردهای بسیاری زیادی در عرصه‌های مختلف علمی و صنعتی برای این فناوری شده است. برای فناوری نانو کاربردهای بسیاری را در حوزه‌های دارو و غذا و بهداشت، درمان بیماریها، محیط‌زیست، انرژی، الکترونیک، کامپیوتر و اطلاعات، مواد، ساخت و تولید، هوافضا، بیوتکنولوژی و کشاورزی و امنیت ملی و دفاع بر شمرده‌اند. به همین دلیل

بر تمام فناوریها تأثیر گذاشته و دیر یا زود باید شاهد محصولات آنها بود. به عنوان نمونه در بخش پزشکی و بهداشت، یک زمینه کاری بسیار مهم، سیستم توزیع دارو در داخل بدن می‌باشد. مصرف دارو در حال حاضر به صورت حجمی است در حالی که سلولهای خاصی از بدن نیازمند آن می‌باشند. در روش جدید دارو با وسایل تزریق متفاوت با امروزه به صورت مستقیم به سمت سلولهای مشخص جهت‌گیری شده و دارو به محل نیاز تحویل داده می‌شود. با همین مکانیزم، بیماریهای بزرگ و کوچک در آغاز شکل‌گیری قابل تشخیص و درمان خواهند بود. در بخش مواد، پروژه‌هایی در دست کار می‌باشد که موادی با وزن بسیار کم و خواص بسیار مناسب تولید شوند. کاربرد این مواد در ساختمان، خودرو، هواپیما و بسیاری از ملزومات زندگی انسانها دیده خواهد شد. بنابراین عرصه بسیار وسیع فناوری نانو که زندگی انسانها را نیز در برخواهد گرفت، خود القاء‌کننده این نتیجه خواهد بود که نمی‌توان به روی آن چشم بست.

مفاهیم جدید فناوری نانو چنان وسیع و نافذ هستند که احتمال می‌رود علم و فناوری را از طرقی که غیرقابل پیش‌بینی هستند، تغییر دهند. اکنون ما تنها شمایی از یک کوه یخی از فرصت‌ها و منافع را که نانو ساختار سازی برایمان فراهم کرده می‌بینیم. محصولات نانوفناوری موجود عبارتند از: تایرهای با پوشش مقاوم تولید شده از ترکیب ذرات مقیاس نانومتر خاک رس معدنی با پلیمرها؛ داروهای نانوزره با ویژگی‌های تحویل‌دهی و کنترل بسیار بهبود یافته؛ چاپ بسیار بهبود یافته با استفاده از ذرات مقیاس نانومتر با بهترین خصوصیات رنگ‌ها و رنگدانه‌ها؛ لیزر و هدهای دیسک مغناطیسی بسیار پیشرفته با کنترل دقیق ضخامت لایه‌ها. بسیاری کاربردهای دیگر که هم اکنون در حال توسعه‌اند و یا انتظار پیشرفت آنها می‌رود، شامل صورت زیر می‌باشند:

صنایع هوانوردی و اتوماسیون. مواد تقویت شده با نانوزره برای بدنه‌های سبک‌تر، تایرهای تقویت شده با نانوزره‌ها که فرسایش کمتری داشته و قابل

بازیافت هستند. نقاشی خارجی که نیاز به شستشو ندارد، پلاستیک‌های غیرقابل اشتعال و ارزان، سیستم‌های الکترونیک برای کنترل و پوشش خودتعمیر. الکترونیک و ارتباطات. سیستم ضبط چندرسانه‌ای با استفاده از نانولایه‌ها، صفحات نمایش مسطح، فناوری سیستم‌های بی‌سیم، قطعات و فرآیندهای جدید در فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات، هزاران برابر افزایش در ظرفیت و سرعت پردازش داده‌ها با قیمت پایین‌تر و بازده مصرفی بیشتر در مقایسه با مدارات الکترونیکی کنونی.

مواد شیمیایی و مواد کاتالیزورهایی که بازده انرژی واکنش‌های شیمیایی را بالا برده و بازده عمل احتراق (و بنابراین آلودگی کمتر) در وسایل نقلیه موتوری را بهبود می‌دهد، دریل‌ها و ابزارهای برش بسیار سخت و غیرشکننده، سیال‌های مغناطیسی هوشمند برای آب‌بندی محیط‌های خلاء و روان‌کننده‌ها.

درمان، بهداشت و علوم زیستی. داروهای نانوساختاری جدید، سیستم‌های ژنتیکی و دارورسانی به مکان تعیین‌شده در بدن، پیوند سازگار اعضاء و مایعات بدن، خودتشخیصی برای استفاده از خانه (بطوری که وسایل خانه همچون پرده، کولر و ... با تشخیص اتوماتیک شرایط محیط کار می‌کنند)، حسگرهایی برای آزمایشگاه روی تراشه، موادی برای بازسازی بافت‌ها و استخوان‌های بدن.

ساخت و تولید. مهندسی ابزارسازی مبتنی بر نسل‌های جدیدی از میکروسکوپ‌ها و تکنیک‌های اندازه‌گیری، فرآیندها و ابزار جدید برای کنترل مواد در اندازه‌های اتمی، نانوپودرهایی با ویژگی‌های خاص که به مواد توده‌ای تزریق می‌شوند و ممکن است شامل حسگرهایی باشند که نواقص اولیه را آشکار ساخته و نیز محرک‌هایی که این مشکلات را برطرف می‌کنند، براق‌سازی مکانیکی-شیمیایی توسط نانوذرات، خودترکیبی ساختارها از مولکول‌ها، بیومواد و بیوساختارها.

فناوری‌های انرژی. انواع جدیدی از باتری‌ها، فتوسنتز مصنوعی برای انرژی

پاک، سلول خورشیدی، چاه کوانتومی ذخیره ایمن هیدروژن برای استفاده به‌عنوان سوخت پاکیزه و صرفه‌جویی انرژی با استفاده از مواد سبک‌تر و مدارهای کوچکتر.

کاوش در فضا. وسایل فضایی کم‌وزن، تولید و مدیریت اقتصادی‌تر انرژی و سیستم‌های روباتیک توانا و خیلی ریز.

محیط‌زیست. غشای جداکننده برای فیلتر کردن آلودگی‌ها و یا حتی نمک از آب، جداکننده‌های نانوساختاری برای خارج کردن آلودگی‌ها از پساب‌های صنعتی؛ مشخص کردن اثرات نانوساختارها در محیط‌زیست؛ تعدیل آسیب‌های صنعتی به محیط‌زیست با کاهش زیاد در مصرف انرژی و مواد، کاهش منابع آلودگی؛ فرصت‌های بیشتر برای بازیافت.

امنیت ملی. آشکارسازها، سم‌زدایی، عوامل زیستی و شیمیایی، مدارات الکتریکی بسیار کارآمد، پوشش‌ها و مواد نانوساختاری سخت، پارچه‌های سبک خود تعمیرشونده، جایگزین خون، سیستم‌های امنیتی ظریف.

با گذر از میکروذرات به نانوذرات، با تغییر برخی از خواص فیزیکی روبرو می‌شویم، که دو مورد مهم آنها عبارتند از: افزایش نسبت مساحت سطحی به حجم و ورود اندازه ذره به قلمرو اثرات کوانتومی. افزایش نسبت مساحت سطحی به حجم که به تدریج با کاهش اندازه ذره رخ می‌دهد، باعث غلبه یافتن رفتار اتم‌های واقع در سطح ذره به رفتار اتم‌های درونی می‌شود. این پدیده بر خصوصیات ذره در حالت انزوا و بر تعاملات آن با دیگر مواد اثر می‌گذارد. مساحت سطحی زیاد، عاملی کلیدی در کارکرد کاتالیزورها و ساختارهایی همچون الکترودها یا افزایش کارایی فناوری‌هایی همچون پیل سوختی و باتری‌ها می‌باشد. مساحت سطحی زیاد نانوذرات باعث تعاملات زیاد بین مواد مخلوط‌شده در نانوکامپوزیت‌ها می‌شود و خواص ویژه‌ای همچون افزایش استحکام یا افزایش مقاومت حرارتی یا شیمیایی را موجب می‌شود. در شکل ۲ چوب فرآوری شده با نوعی اسپری که

روکشی حاوی ترکیب نانوذرات با پلیمرهای آبریز روی چوب ایجاد می‌کند، را نشان می‌دهد.^۴



شکل ۲- قطرات آب روی یک سطح چوبی فرآوری شده با «اسپری نیلوفر آبی ساخت شرکت BASF»^۴

معرفی برخی محصولات پایه‌ای فناوری نانو

در این قسمت به سه محصول پایه‌ای در فناوری نانو که امروزه بسیاری از محصولات فناوری نانو بر پایه آنها ساخته می‌شوند، اشاره می‌گردد.

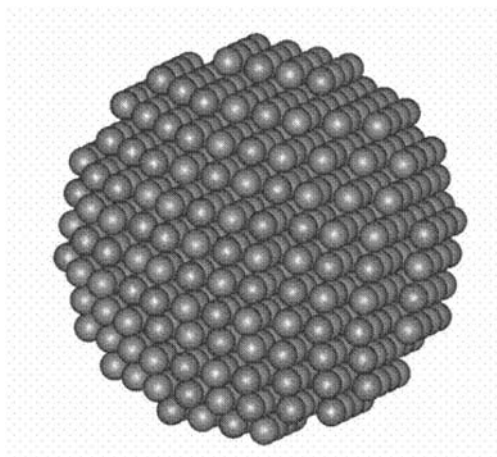
۱. نانوذرات

نانوذرات از زمان‌های بسیار دور مورد استفاده قرار می‌گرفتند. شاید اولین استفاده آنها در لعاب‌های ایرانی خلفای عباسی بوده است تا رنگ‌های متفاوتی از لعاب برحسب نحوه تابش نور (از جلو یا عقب) پدید آید. البته علت چنین اثراتی برای سازندگان آنها ناشناخته بوده است.

کربن بلک مشهورترین مثال از یک نانوذره است که ده‌ها سال به طور انبوه تولید شده است. حدود ۱/۵ میلیون تن از این ماده در هر سال تولید می‌شود. البته فناوری نانو راهی برای استفاده آگاهانه و آزادانه از طبیعت نانومقیاس ماده است و

کربن بلک‌های مرسوم نمی‌توانند برچسب فناوری نانو را به خود بگیرند. با این حال قابلیت‌های تولید و آنالیز جدید در نانومقیاس و پیشرفت‌های ایجادشده در درک نظری رفتار نانومواد - که قطعاً به معنای فناوری نانو است - می‌تواند به صنعت کربن بلک کمک نماید. نانوذرات در حال حاضر از طیف وسیعی از مواد ساخته می‌شوند؛ معمول‌ترین آنها نانوذرات سرامیکی می‌باشد، که به بخش سرامیک‌های اکسید فلزی- نظیر اکسیدهای تیتانیوم، روی، آلومینیوم و آهن - نانوذرات سیلیکات که عموماً به شکل ذرات نانومقیاسی خاک رس می‌باشند، تقسیم می‌شوند. طبق تعریف حداقل باید یکی از ابعاد آنها کمتر از ۱۰۰ نانومتر باشد. نانوذرات سیلیکاتی که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرند، ذراتی با ضخامت تقریباً ۱ نانومتر و عرض ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر هستند. آنها سال‌ها پیش از این تولید می‌شده‌اند، معمول‌ترین نوع خاک رس که مورد استفاده قرار می‌گیرد مونت‌موریلونیت (Montmorillonite)، یا آلومینوسیلیکات لایه‌ای می‌باشد. نانوذرات می‌توانند با پلیمریزاسیون یا به وسیله آمیزش ذوبی (اختلاط با یک پلاستیک مذاب) با پلیمرها ترکیب شوند. برای پلاستیک‌های ترموست این یک فرآیند یک‌طرفه است، چون آنها در اثر حرارت محکم و سفت می‌شوند و نمی‌توانند دوباره ذوب شوند. در عوض ترموپلاستیک‌ها می‌توانند به دفعات در اثر حرارت ذوب شوند. نانوذرات فلزی خالص می‌توانند بدون اینکه ذوب شوند (تحت نام پخت) در دماهای پائین‌تر از دمای ذوب ذرات بزرگ‌تر، وادار به آمیخته شدن با یک جامد شوند؛ این کار منجر به سهل‌تر شدن فرآیند تولید روکش‌ها و بهبود کیفیت آنها، خصوصاً در کاربردهای الکترونیکی نظیر خازن‌ها، می‌گردد. نانوذرات سرامیکی اکسید فلزی نیز می‌توانند در ایجاد لایه‌های نازک- چه بلوری و چه آمورف- مورد استفاده قرار گیرند. نانوذرات سرامیکی نیز می‌توانند، مانند نانوذرات فلزی، در دماهای کمتر از دمای هم‌تاهای غیر نانومقیاسی خود به سطوح و مواد توده‌ای تبدیل شوند و هزینه ساخت را کاهش دهند. سیم‌های ابررسانا از نانوذرات

سرامیکی ساخته می‌شوند؛ چون در حالی که مواد سرامیکی متعارف بسیار شکننده هستند، مواد سرامیکی نانوذره Polyhedral Oligomeric Silsesquioxanes ای نسبتاً انعطاف‌پذیرند. یک زمینه بسیار جذاب، استفاده از آنها برای ساخت روکش‌های نانوبلورین است. مثلاً نیروی دریایی آمریکا هم اکنون از سرامیک‌های نانوبلورین استفاده می‌کند.



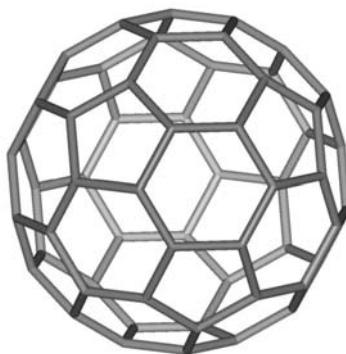
شکل ۳- یک نمونه از نانوذرات

اگرچه نانوذرات سرامیکی اکسید فلزی، فلزی و سیلیکاتی با کاربردهای کنونی و پیش‌بینی شده بخش اعظم نانوذرات را تشکیل می‌دهند، اما نانوذرات بسیار دیگری نیز وجود دارند. ماده‌ای به نام کیتوسان (Chitosan)، که در حالت‌دهنده‌های مو و کرم‌های پوست مورد استفاده قرار می‌گیرد، از نانوذرات ساخته شده است. این فرآیند در اواخر سال ۲۰۰۱ ثبت شد. شکل ۳ نمایی کلی از یک نانوذره را نشان می‌دهد.

۲. فولرین

اولین فولرین کشف‌شده باکی‌بال بود، که به علت شباهت با گنبد ژئودزی آرشیتکت معروف باکمینستر فولر، باکمینستر فولرین نیز خوانده می‌شد. این ماده

را ریچارد اسمالی، رابرت کرل و هاری کروتو در سال ۱۹۸۵ در دانشگاه رایس هوستون، خلق کردند. این افراد به خاطر اکتشافشان در جایزه نوبل ۱۹۹۶ با یکدیگر شریک شدند. باکی بال مولکولی از ۶۰ اتم کربن (C_{60}) به شکل یک توپ فوتبال است، که به صورت شش‌ضلعی‌ها و پنج‌ضلعی‌های بهم پیوسته‌ای آرایش یافته‌اند (شکل ۴).



شکل ۴- نمایی از فولرین

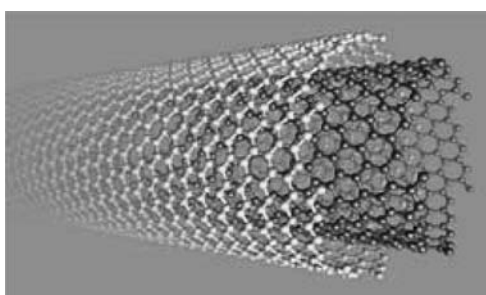
در اندک‌زمانی، فولرین‌های دیگری کشف شدند که از ۲۸ تا چند صد اتم کربن داشتند. با این حال C_{60} ارزان‌ترین و سهل‌الوصول‌ترین آنهاست و فولرین‌های بزرگ‌تر هزینه بسیار بیشتری دارند. لغت فولرین کل مجموعه مولکول‌های توخالی کربنی را که دارای ساختار پنج‌ضلعی و شش‌ضلعی می‌باشند، پوشش می‌دهد. نانولوله‌های کربنی -که از لوله‌شدن صفحات گرافیتی با آرایش شش‌ضلعی ساخته می‌شوند- در صورت بسته‌بودن انتهایشان، خویشاوند نزدیک فولرین به حساب می‌آیند. در واقع آنها به مثابه فولرین‌هایی می‌باشند که با قراردادن کربن در نصف‌النهارشان به صورت لوله درآمده‌اند. با این حال در اینجا لفظ فولرین‌ها دربرگیرنده نانولوله‌ها نیست.

در واقع فولرین‌ها به مقدار اندکی در طبیعت، در حین آتش‌سوزی و صاعقه‌زدگی پدید می‌آیند. شواهدی وجود دارد که انقراض موجودات دوره پرمین در ۲۵۰

میلیون سال پیش، حاصل برخورد یک شیء حاوی باکی‌بال‌ها بوده است. با این حال فولرین‌ها اولین بار در دوده حاصل از تبخیر لیزری گرافیت کشف شدند. اولین فرآیند تولید انبوه، روش تخلیه قوس الکتریکی (یا کراچر- هوفمن) بود، که در سال ۱۹۹۰ با استفاده از الکترودهای گرافیتی توسعه یافت. در این فرآیند بیشتر C_{60} و C_{70} تشکیل می‌شود. اما می‌توان با تغییراتی مثل استفاده از الکترودهای متخلخل‌تر به فولرین‌های بالاتر نیز دست یافت. با استفاده از حلال‌هایی همچون تولوئن می‌توان به C_{60} با خلوص تقریباً ۱۰۰٪ دست یافت. اندکی بعد، گروهی در مؤسسه فناوری ماساچوست (MIT) شروع به تولید C_{60} در شعله بنزن کردند. از پیرولیز ترکیبات آروماتیک بسیاری برای تولید فولرین‌ها استفاده شد. ثابت شده که روش‌هایی همچون اسپاترینگ (sputtering) و تبخیر با پرتو الکترونی (روی گرافیت)، موجب افزایش بازده تولید فولرین‌های بالاتری همچون C_{70} ، C_{76} ، C_{78} و C_{84} می‌شود. دانشگاه کالیفرنیا در لوس‌آنجلس (UCLA) در این زمینه اختراعاتی را به ثبت رسانده است.

۳. نانولوله‌ها

در میان عناصر موجود در طبیعت، کربن به دلیل داشتن توانایی ایجاد ساختارها و شکل گوناگون، قطعاً یک استثنا به شمار می‌آید. نانولوله‌ها (Nanotubes) جزو جذاب‌ترین این ساختارها محسوب می‌گردند.



شکل ۵- شکل کلی نانولوله دوجداره

دستیابی به فناوری تولید نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره و امکان‌سنجی افزایش تولید آنها در مقیاس صنعتی، یکی از مهمترین زمینه‌هایی است که در ارتباط با فناوری نانو، به شدت به شکل رقابتی در کشورهای مختلف تحت بررسی و مطالعه قرار دارد.

نانولوله‌های کربنی، استوانه‌هایی توخالی از تک ورقه‌های گرافیتی یا گرافن (Graphene) هستند که به شکل استوانه‌ای پیچیده شده‌اند (شکل ۵). این مواد دارای خواص ساختاری، مکانیکی و الکتریکی فوق‌العاده‌ای هستند که ناشی از خواص ویژه پیوندهای کربنی، طبیعت شبه‌تک‌بعدی ساختمانی و تقارن استوانه‌ای آنها است. قطر نانولوله‌های کربنی در حدود چند نانومتر و طولشان در حد میکرومتر بوده و خواص آنها به خواص الیاف گرافیتی ایده‌آل نزدیک است. نانولوله‌ها به طور کاملاً اتفاقی توسط Iijima Sumio و در حین مطالعه روی سطوح الکترودهای گرافیتی مورد استفاده در تخلیه قوس‌های الکتریکی، کشف شد. پس از کشف این ماده، محققان پیش‌بینی کردند که ساختار این ماده به گونه‌ای است که می‌تواند عرصه مطالعاتی وسیعی را در زمینه مواد نو فراهم سازد. در سال‌های بعد، چنین نیز شد به طوری که تاکنون صدها مقاله علمی در خصوص این مواد منتشر شده است.

در میان ساختارهای نانولوله‌های کربنی کشف شده، دو ساختار بیش از همه مورد توجه قرار گرفته است. این دو ساختار عبارتند از نانولوله‌های کربنی چنددیواره (Multi Walled Carbon Nanotubes) MWNT که در سال ۱۹۹۱ کشف شدند و نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره (Single Walled Carbon Nanitubes) SWNT که در سال ۱۹۹۳ کشف شدند. این دو، پتانسیل بالایی در کاربردهای مختلف صنعتی یافته‌اند. به عنوان مثال، نانولوله‌های چند دیواره در دستگاه‌های نشر میدانی (Field emitting)، به عنوان نانوپروب در میکروسکوپ‌های نیرو اتمی (Atomic Forced Microscope AFM)، به عنوان پایه در کاتالیست‌های هتروژن

و میکروالکترودها در واکنش‌های الکتروکاتالیستی کاربرد یافته‌اند. همچنین از کاربرد نانولوله‌های تک دیواره در دستگاه‌های الکترونیکی، ذخیره‌سازی گاز هیدروژن، سیم‌های کوانتومی، جذب گاز، به عنوان ماده ذخیره‌ساز الکتروشیمیایی، عامل تقویت‌کننده مواد کامپوزیتی، ذخیره‌سازی انرژی در ابرخازن‌ها و باتری‌های ثانویه و ترانزیستورها می‌توان نام برد. برخی از این کاربردها در آینده نزدیک کاملاً صنعتی شده و به بازار راه می‌یابند.

هر نانولوله تک‌دیواره از استوانه‌ای گرافیتی تشکیل شده که قطر این استوانه بین ۱ تا ۲ نانومتر است. نانولوله چند دیواره، دارای دیواره‌ای ضخیمتر بوده و شامل چند استوانه گرافیتی هم محور است که با فاصله‌ای در حد 0.34 نانومتر از یکدیگر جدا شده‌اند. قطر خارجی نانولوله‌های چنددیواره بین ۲ الی ۲۵ نانومتر و قطر داخلی آنها در حد ۱ تا ۸ نانومتر است. طول متوسط نانولوله‌ها نیز می‌تواند در حد چند میکرومتر باشد. نانولوله‌های تک‌دیواره قطر یکنواختی دارند ولی به هنگام تشکیل، تمایل زیادی به فشردگی در کنار یکدیگر دارند^۵.

نانولوله‌ها و کاربردهای فراوان

اکثر کاربردها براساس ساختار الکترونیکی، استحکام مکانیکی، انعطاف‌پذیری و ابعاد نانولوله پیشنهاد شده است. کاربرد الکترونیکی بر پایه نانولوله تک‌دیواره‌ای است؛ در حالی که در مورد سایر کاربردها، تفاوتی میان نوع چنددیواره‌ای و تک‌دیواره‌ای وجود ندارد. کاربرد نانولوله به عنوان وسایل الکترونیکی کوچک مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. به عنوان مثال، نوع تک‌دیواره‌ای که بین دو الکترودهای فلزی قرار داده شده مشابه وسایل نیمه‌رسانای مرسوم است و عملکرد آن در حد وسایل موجود برآورده شده است (عملکرد از لحاظ سرعت سویچینگ) هنوز کاری جدی برای ساخت نانولوله به صورت ساختاری مشابه ساختارهای پیچیده مورد استفاده در صنعت امروزی نیمه‌هادی صورت نگرفته است. به علاوه،

نانولوله‌ها به عنوان گسیل‌دهنده الکترون در نظر گرفته شده‌اند. نانولوله‌ها می‌توانند به دلیل استحکام مکانیکی و الاستیسیته بالا به عنوان نانوپروب به کار روند. کامپوزیت‌های اپوکسی- نانولوله چنددیواره‌ای ساخته شده‌اند که افزایش قابل توجهی در خواص مکانیکی نشان می‌دهند، اما استحکام کامپوزیت از مقدار پیش‌بینی شده کمتر بوده است. موفقیت تولید کامپوزیت‌های تقویت شده با نانولوله‌ها به محکم بودن فصل مشترک بستگی دارد. به دلیل سطح صاف نانولوله که در حد اتمی است، فصل مشترک قوی نخواهد بود. به هر حال، تاکنون شیوه شکست کامپوزیت شدیداً ترد بوده است (مشابه اپوکسی خالص). ساخت کامپوزیت‌های با رسانایی (الکتریکی و گرمایی) بالا با استفاده از پلیمرهای پر شده با نانولوله در حال تحقیق است. کامپوزیت‌های نانولوله/PPV افزایش ۱۰۸ برابری رسانایی الکتریکی از خود نشان داده‌اند. استفاده از نانولوله‌ها در زمینه‌های پلیمری جهت خواص اپتیکی غیرخطی، تکنولوژی غشا و مواد ایمپلانت برای کاربردهای بیولوژیکی پیشنهاد گردیده است.

ساختار توخالی نانولوله سبک بودن آن را به دنبال دارد. چگالی نوع چنددیواره‌ای، $1/8$ و نوع تک دیواره‌ای $0/8$ است، در نتیجه برای کاربرد در کامپوزیت‌ها و پیل‌های سوختی مفید خواهند بود. استحکام ویژه آنها حداقل ۱۰۰ برابر فولاد است. نانولوله‌ها مقاومت خوبی در برابر مواد شیمیایی داشته و از پایداری گرمایی بالایی برخوردارند. اکسایش نانولوله‌ها از دو سر تیوب آغاز می‌شود. این عمل باعث باز شدن تیوب خواهد شد.

نانولوله‌ها می‌توانند اتم‌های خارجی را در حفره‌های خود جای دهند به طوری که امکان ساخت نانوسیم‌های تک‌بعدی را فراهم می‌سازند. محاسبات اولیه نشان داده‌اند که نیروهای مویینه قوی در نانولوله‌ها وجود دارد به طوری که این مواد می‌توانند گازها و مایعات را در خود جای دهند، بنابراین می‌توان از نانولوله‌ها به عنوان قالب برای ساخت نانوسیم و کامپوزیت‌های تک‌بعدی با خواص مکانیکی و

الکتریکی جالب استفاده کرد.

از نانولوله چند دیواره‌ای به عنوان الکتروود در واکنش‌های بیوالکتروشیمیایی استفاده شده است. نانولوله‌ها می‌توانند واکنش‌های احیای اکسیژن را کاتالیز کنند. سرعت انتقال الکترون در نانولوله‌ها بیشتر از الکترودهای کربنی است. توانایی کاتالیستی نانولوله پوشش داده شده با فلز بهتر از انواع کربن شیشه‌ای یا گرافیتی است. امکان استفاده از کاتالیزورهای نانولوله در تولید و ذخیره انرژی نیز پیشنهاد شده است. ذخیره هیدروژن در داخل حفرات نانولوله‌های تک‌دیواره‌ای امکان‌پذیر خواهد بود. هیدروژن در این نوع نانولوله چگالیده می‌شود. در صورتی که قطر مناسب برای گرفتن و آزادکردن هیدروژن به دست آید، راندمان بالای ذخیره انرژی حاصل خواهد شد. کنترل اندازه قطر در حین تولید در حوزه پیل سوختی تاثیرگذار خواهد بود.^۵

مراجع

- ۱- گروه کاری بین‌سازمانی علوم، مهندسی و فناوری نانو، سمت و سوی تحقیقات در فناوری نانو، مرتضی مغربی و محمودرضا شاهوردی، آتنا، ۱۳۸۳
- 2-Richard H. Smith, "A Policy Framework for Developing a National Nanotechnology Program", MSc. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 1998
- ۲- سایت ستاد توسعه نانو فناوری (www.nano.ir)
- ۴- سایت ستاد توسعه نانو فناوری (www.nano.ir)
- ۵- دفتر همکاریهای فناوری ریاست جمهوری، نانوتکنولوژی انقلاب صنعتی آینده، انتشارات پژوهش، ۱۳۸۰

تلاقی فناوری نانو و صنعت فولاد؛ عرصه‌ای بکر برای پیشرفت

صنعت فولاد، پایه‌های توسعه جامعه و فناوری نانو، برگ برنده توسعه و پیشرفت آینده هستند و تلاقی این دو جذاب و در عین حال سرنوشت‌ساز خواهد بود. در نگاه اول و ساده، شاید این دو کاملاً بی‌ارتباط باشند، اما با نگاهی دقیق‌تر به تلاش‌ها و پژوهش‌ها انجام شده در این زمینه، می‌توان دریافت که ارتباط، تازه در اوایل راه است. با دقت در تلاش‌ها و پژوهش‌های انجام شده می‌توان نکاتی را استنباط نمود؛ فناوری نانو در بهبود بخشیدن خواص مختلف و متنوعی از انواع فولادها اثرگذار بوده است. به علاوه، چینی‌ها و ژاپنی‌ها در این تلاش‌ها نقش بسیار برجسته‌ای داشته‌اند. تلاش‌های قابل توجه چینی‌ها در بکارگیری فناوری نانو در عرصه فولاد، نشانگر توجه آنها به کاهش هزینه‌ها و استفاده بهینه از سرمایه‌ها برای گسترش زیرساخت‌ها و نیز نگاه آنها به آینده برای کسب جایگاه برتر در عرصه فولاد است.

برخی محصولات فولادی تولید شده با کمک فناوری نانو

تعداد محصولاتی که تاکنون با استفاده از فناوری نانو در صنعت فولاد تولید شده و از آنها اطلاعاتی وجود دارد، چندان زیاد نیست؛ این نشانگر این مساله است که این عرصه تازه در ابتدای راه خود می‌باشد. شرکت‌ها و موسسات عرضه‌کننده محصولات فولادی ساخته شده با استفاده از فناوری نانو را نمی‌توان به یک دسته خاص منحصر کرد؛ از سویی شرکت‌های NKK و Sandvik به عنوان دو شرکت

بزرگ و معتبر در عرصه فولاد جزو این شرکت‌ها هستند و از سوی دیگر شرکت‌های کوچکتری چون MMFX. به علاوه موسسات و شرکت‌های غیرتولیدکننده‌ای چون موسسه بین‌المللی علم مواد ژاپن و دانشگاه پنسیلوانیا نیز در این زمینه حضور دارند.

محصولات فولادی تولید شده با فناوری نانو را می‌توان به چند دسته، از جمله «فولادهای بهبوددهنده خواص استحکامی و سختی»، «فولادهای بهبوددهنده خواص خزشی و دما بالا» و «فولادهای بهبوددهنده خواص خوردگی» دسته‌بندی کرد. علاوه بر این، محصولات دیگری نیز خارج از دسته‌بندی‌های ذکر شده، به‌طور موردی ساخته شده‌اند. با توجه به اینکه هر دسته از فولادها، به‌عنوان مثال فولادهای سازه‌ای یا ساختمانی که نیازمند استحکام و سختی مناسب هستند، خود مجموعه‌ای گسترده از محصولات مختلف هستند که فناوری نانو فقط در تعداد اندکی از آنها بکار گرفته شده است، عرصه‌ای بکر برای فعالیت فناوری نانو به چشم می‌آید. در ادامه به محصولات فولادی‌ای که با بکارگیری فناوری نانو ساخته شده‌اند، اشاره می‌گردد.

۱. افزایش مقاومت خزشی و خواص دما بالا با استفاده از فناوری نانو

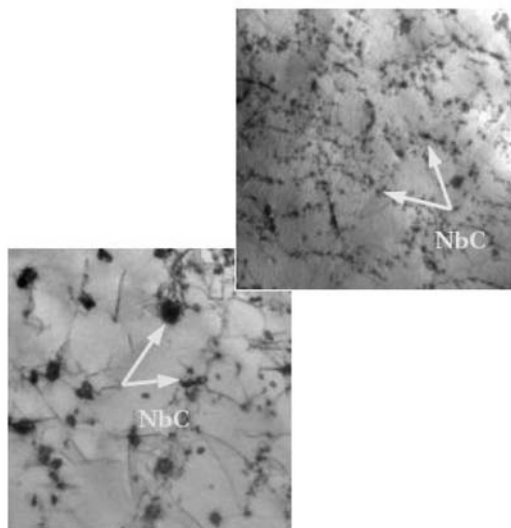
امروزه فولادهای با کاربرد دمای بالا نقش مهمی را در ساخت قطعات مورد نیاز صنایع مختلف ایفا می‌کنند. در این راستا افزایش مقاومت به خزش فولادها تاثیر زیادی در عمر مفید، دما و نوع کاربرد فولادها دارد. خزش یکی از انواع تغییر شکل یافتن است که تحت شرایط اعمال تنش و دمای بالا در مواد با استحکام پایین ظاهر می‌شود. به‌منظور افزایش مقاومت به خزش فولادها از تکنیک رسوب‌دهی ذرات ریز که عموماً اکسیدها هستند، استفاده می‌شود. از آنجا که این فرایند با استفاده از

اکسیدهای مختلف گران و نامطمئن است و برای تولید انبوه مناسب نیست، ایده کاربرد فناوری نانو در این زمینه به وجود آمد.

• در موسسه بین‌المللی علم مواد در ژاپن تحقیقاتی مبنی بر افزایش ذرات نانومتری اکسیدهای مختلف و تاثیر آن در افزایش مقاومت به خزش فولادهای تجاری معمولی انجام شده است. محققان این موسسه توانسته‌اند با افزایش ذرات نانومتری به یک ترکیب خاص آلیاژی، مقاومت به خزش فولاد را در حدود ۱۰۰ برابر افزایش دهند. ابتدا نتایج آنها در حد تحقیقات آزمایشگاهی بوده ولی به تدریج در ساخت مواد با کاربردهای دمای بالا به کار گرفته شده است. محققان این موسسه همچنین آزمایش‌هایی را برای ساخت فولادهای سبک با خواص مکانیکی بالا انجام داده‌اند. آلیاژهای به کار برده شده برای این کار شامل ذرات نانویی کربونیتريد و همچنین اکسید ایتريم بوده که با استفاده از روش‌های پیچیده آلیاژسازی مکانیکی ساخته شده‌اند^{۲۱}.

• در شرکت ORNL روی یک نوع فولاد زنگ‌نزن ریختگی تحقیقاتی انجام شده است. محققان این شرکت توانسته‌اند توسط فناوری نانو و با آزمایش‌های زیاد روی آلیاژهای متفاوت از جمله منگنز، نیتروژن و کاربید نیوبیوم، نوعی فولاد زنگ‌نزن ریختگی تحت عنوان «CF8C-Plus» بسازند. این فولاد برای ساخت قطعات با کاربردهای دمای بالا از جمله موتورهای دیزلی، قطعات کامیونهای سنگین، توربین‌های گازی و حتی برخی قطعات ژنراتورهای ثابت به کار برده می‌شود. قطعات مورد نظر دارای خواص خوب مقاومت خزشی، خستگی مکانیکی، خستگی حرارتی و همچنین اکسید شدن تا دمای حدود ۸۵۰ درجه سانتیگراد یعنی ۲۰۰ درجه بالاتر از فولادهای ریختگی مشابه (فولاد استاندارد CF8C) می‌باشند و در عین حال قیمت تمام شده آنها تفاوت چندانی نمی‌کند^{۴۳}. شکل ۱ ذرات نانوبلوری کاربید نیوبیوم فولاد «CF8C-Plus» را در مقایسه با فولاد مرسوم استاندارد «CF8C»

نشان می‌دهد.



شکل-۱ فولاد «CF8C-Plus» (بالا) به سبب داشتن ذرات نانوکریستالی کاربید نیوبیوم و قفل شدن نابجایی‌ها در اثر این ذرات در مقایسه با فولاد استاندارد «CF8C» (پایین) در دمای بالا مقاومت به خزش برتری دارد^۴.

۲. افزایش استحکام فولاد با استفاده از فناوری نانو

- در یک موسسه فناوری مواد با عنوان Sandvik، نوعی فولاد ضدزنگ تحت عنوان «sandvik nanoflex» با خصوصیات استثنایی تولید شده که دارای استحکام بسیار بالا و در عین حال شکل‌پذیری، مقاومت به خوردگی و خواص عالی می‌باشد. این ترکیب همچنین قابلیت جوشکاری خوبی دارد و در صنایع مختلف از جمله ساخت تجهیزات پزشکی، ورزشی و ... کاربرد دارد. همچنین این فولاد قابل جایگزینی به جای فولادهای کروم سخت‌شده در صنعت خودرو را دارد^۵.
- موسسه تحقیقاتی NNK ژاپن روی ورق‌های فولادی‌ای که تحت عنوان «Sheet Nano Hiten Steel» شناخته می‌شوند و برای ساخت برخی قطعات اتومبیل کاربرد

تلاقی فناوری نانو و صنعت فولاد؛ عرصه‌ای بکر برای پیشرفت

دارند، مطالعاتی انجام داده است. محققان این شرکت توانسته‌اند توسط فناوری نانو، ورق‌های فولادی شکل‌پذیر با استحکام بسیار بالا (حدود 780 N/mm^2) بسازند. برای افزایش استحکام این فولادها از چهار روش عمومی زیر استفاده می‌شود:

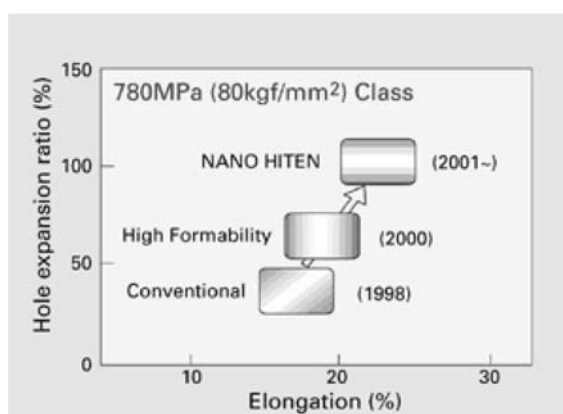
۱- استحکام‌دهی محلول جامد.

۲- رسوب‌سختی.

۳- استحکام‌دهی از طریق اندازه دانه.

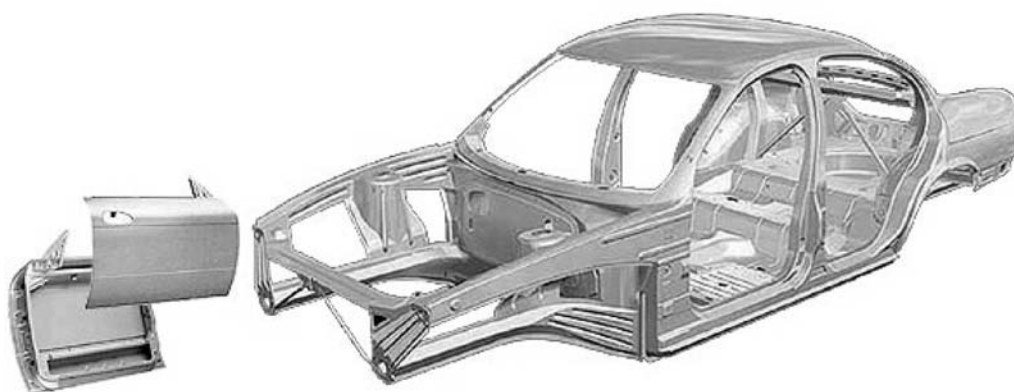
۴- سریع سرد کردن.

در حالت عادی و در فولادهای معمولی با این روش‌ها استحکام تا حدود N/mm^2 می‌رسد؛ اما در NNK با استفاده از یک روش جدید رسوب‌سختی که شامل به‌کارگیری رسوب‌هایی با ترکیب خاص آلیاژی، بهینه‌سازی شرایط نورد گرم و کوچک‌کردن اندازه رسوبات تا ابعاد نانو بود، سختی ورق‌ها به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. شکل ۲ میزان پیشرفت و افزایش خواص مکانیکی محصول جدید را در سالهای ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ نشان می‌دهد^۸.



شکل ۲- نسبت انبساط به درصد ازدیاد طول محصولات مختلف نانویی شرکت NNK^۸

ورق‌های ساخته شده توسط NKK به سبب افزایش استحکام در واحد وزن، در کل نسبت به ورق‌های مشابه وزن کمتری داشته و در نتیجه وزن نهایی خودرو را کاهش می‌دهند. شکل ۳ قسمت‌هایی از بدنه خودرو که می‌توان آن را از فولاد جدید ساخت نشان می‌دهد.

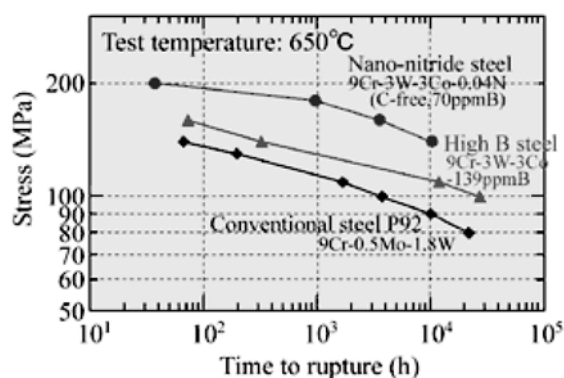


شکل-۳ قسمت‌های قابل ساخت بدنه خودرو توسط فولاد جدید شرکت NKK^۹

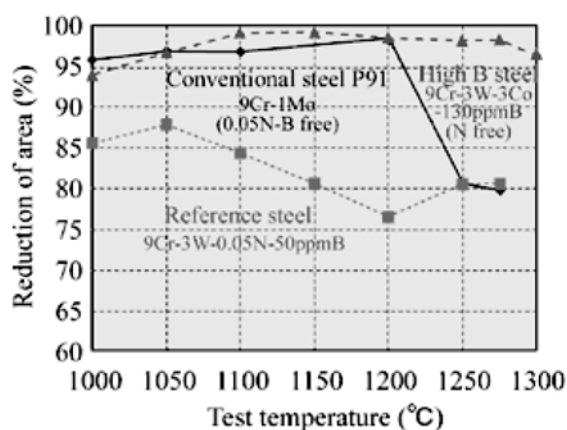
• موسسه بین‌المللی علم مواد ژاپن (NIMS) تحقیقاتش را بر روی نوعی فولاد که برای لوله‌های انتقال گاز CO₂ به کار می‌رود، متمرکز نموده است. محققان این موسسه موفق به ساخت نوعی فولاد جدید شده‌اند که با استفاده از ذرات نانومتری نیتريد، استحکام بسیار بالایی پیدا می‌کند. این استحکام تا دماهای ۶۰۰ تا ۶۵۰ درجه سانتیگراد پایدار بوده و مقاومت به خزش فولاد را به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. مقاومت به خزش فولاد جدید با فولاد مرسوم مورد استفاده به نام «Steel

تلاقی فناوری نانو و صنعت فولاد؛ عرصه‌ای بکر برای پیشرفت

P92، که برای انتقال گاز CO₂ کاربرد دارد، در شکل ۴ مقایسه شده است. همچنین میزان پایداری استحکام فولاد در دماهای بالا (کارپذیری گرم)، در مقایسه با دو نوع فولاد دیگر در شکل ۵ نشان داده شده است.^{۱۰}



شکل-۴ مقایسه استحکام خزشی فولادهای جدید و قدیمی لوله‌های انتقال گاز CO₂^{۱۰}



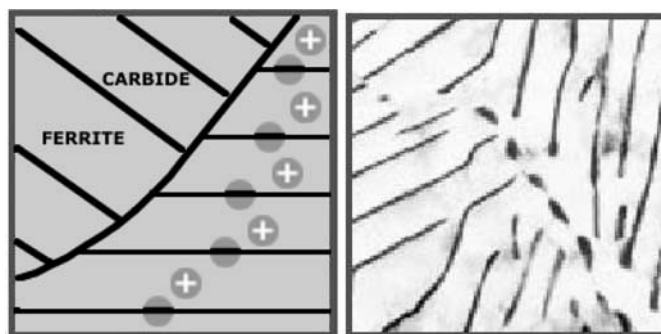
شکل-۵ مقایسه پایداری استحکام در دماهای بالا (کارپذیری گرم)

برای فولادهای جدید و قدیمی لوله‌های انتقال گاز CO₂^{۱۰}

۳. افزایش مقاومت به خوردگی فولاد با استفاده از فناوری نانو

خوردگی تخریب یا از بین رفتن یک ماده در اثر واکنش با محیطی که در آن قرار دارد تعریف می‌شود. تخمین هزینه‌های سالانه خوردگی در ایالات متحده در حدود ۲۷۴ میلیارد دلار می‌باشد. استفاده از فرایندهای مختلف مرتبط با فناوری نانو از جمله راه‌حل‌های موثر و مفیدی است که امروزه جهت کاهش این آمار و ارقام و افزایش خواص مقاومت به خوردگی محصولات مختلف به کار گرفته می‌شود.

• شرکت فولاد MMFX با تحقیقاتی که در چند سال اخیر بر روی فولادهای فریتی انجام داده، توانسته با حذف دسته‌ای از سلول‌های میکروگالوانیکی (شکل ۶)، مقاومت به خوردگی این نوع فولادها را افزایش دهد. نتایج حاصل که با به‌کارگیری فرایندهای نانو بدست آمده با جلوگیری از تشکیل کاربیدهای آزاد و یا کاهش مقدار آن سبب افزایش مقاومت به خوردگی، استحکام و سایر خواص مکانیکی فولادها شده است.^{۱۱}



شکل-۶ (آ) مسیر گالوانیکی پیوسته در ساختار فریت کربید فولاد

(ب) سلولهای میکروگالوانیکی در ساختار فولاد^{۱۱}

• گروهی از محققان دانشگاه پنسیلوانیا بر روی چند نوع آلیاژ تیتانیوم و فولاد زنگ‌نزن مورد استفاده در مهندسی پزشکی، آزمایش‌هایی انجام داده‌اند. اساس کار آنها پوشش‌دهی این آلیاژها توسط ذرات نانومتری NH_2 و SiO_2 است و تاثیر این پوشش‌دهی بر خواص سطحی از جمله مقاومت به خوردگی، سایش مکانیکی، سازگاری با بافتهای زنده، زبری و نرمی را مورد مقایسه قرار داده و نشان داده‌اند با استفاده مناسب از این ذرات و کنترل اندازه، مقدار و نحوه پوشش‌دهی می‌توان خواص بسیار خوبی برای قطعات قابل کاشت در بافتهای زنده بدست آورد^{۱۲}.

۴. دیگر خواص ایجاد شده در فولاد با استفاده از فناوری نانو

• محققان شرکت HAPL دسته‌ای از آلیاژهای فولادی که برای ساخت محفظه‌های محافظ اشعه لیزر و سایر پرتوهای پرانرژی به‌کار برده می‌شود را مورد بررسی و آزمایش قرار دادند. آنها فولادهای نانوکامپوزیتی را به عنوان ساختار اولیه و اصلی دیواره‌ها به‌کار برده و از تنگستن به عنوان لایه محافظ این ساختار اولیه استفاده کردند^{۱۳}.

• شرکت Sandvick Materials Tech. محصولاتی به بازار عرضه کرده که توسط فرایند نانو بهینه‌سازی شده‌اند. یکی از محصولات آنها سیم‌هایی فولادی به طول ۱۰۰۰۰ متر است که برای پایش لوله‌های نفت و گاز کاربرد دارد. همچنین این شرکت عرضه‌کننده لوله‌های انتقال نفت و گاز شیرهای کنترل و ... نیز می‌باشد^{۱۴}.

• Staffan Norrga، محقق در کشور سوئد، بر روی فولادهایی که در ساخت صنایع الکترونیکی، به‌ویژه سوئیچ‌ها و هسته ترانسفورماتورها کاربرد دارند، تحقیقاتی انجام داده است. نورگا نشان داده که هسته‌های فولادی جدید با ساختارهای آمورف و نانوکریستالی، اتلاف انرژی را به مقدار قابل ملاحظه‌ای در فرکانس‌های بالا کاهش می‌دهند. از آنجا که این ترکیبات با قیمت‌های قابل قبول و

مقرون به صرفه عرضه می‌شوند و جایگزین خوبی برای قطعات مشابه قدیمی هستند، دولت سوئد را وادار به سرمایه‌گذاری در این زمینه نموده که نتیجه آن کاهش هزینه‌های ناشی از کاربرد قطعات قدیمی است^{۱۵}.

• در کنار شرکت‌ها و موسساتی که در زمینه تولید محصولات نهایی فولادی با استفاده از روش‌های مختلف فناوری نانو فعالیت دارند، باید به شرکت‌هایی مانند Zhong Kang Da Nano Development به عنوان نهادهای پشتیبان عمل نموده و مواد اولیه مورد نیاز را تهیه می‌کنند نیز اشاره‌ای نمود. محصولات این شرکت شامل ترکیبات و آلیاژها مختلف آهنی و غیرآهنی در ابعاد نانومتری و با درجه خلوص بالا می‌باشد که در ابعاد ۳۰ تا ۷۰ نانومتر و با خلوص ۹۹/۹٪ عرضه می‌شوند^{۱۶}.

برخی پتنت‌های ثبت شده در زمینه فناوری نانو

ثبت پتنت (patent) به معنی آن است که هدف پژوهشگر آن یا به عبارتی به ثبت‌رساننده آن، بیش از جنبه علمی، جنبه تجاری پژوهش است. به عبارت دیگر هدف ثبت‌کننده پتنت آن است که دستاورد خود را به عرصه تجارت ارایه کرده و در صورتی که پتنت او از نظر تجاری موفق باشد، سهم خود را از این موفقیت تضمین نماید. رشد ثبت پتنت‌ها در یک زمینه، نشانگر توجه فزاینده پژوهشگران و صنایع به آن زمینه و انتظار ایجاد محصولات نو است.

در ادامه این گزارش پتنت‌های ثبت شده در زمینه محصولات فولادی با بکارگیری فناوری نانو اشاره می‌شود. با دقت در روند ثبت پتنت‌ها در این زمینه، رشد کاملاً محسوس این روند به خوبی قابل مشاهده است که نشان‌دهنده نگاه‌های زیاد به این زمینه است.

• گروهی از محققان ژاپنی تحقیقات خود را برای بدست آوردن سیم‌های فولادی

با استحکام، چقرمگی و فرم‌پذیری بالا متمرکز نموده‌اند. آنها سیم‌هایی با درصد کربن ۱/۳ و ۰/۴ را مورد آزمایش قرار داده‌اند. آنها نشان داده‌اند که با کنترل دقیق شرایط کار سرد و آنیل‌کردن (حرارت دادن قطعه در کوره، نگهداری به مدت مشخص و سپس سرد کردن آن در کوره)، کاربید موجود در ساختار پرلیتی (نوعی ساختار لایه‌ای شبیه به اثر انگشت در قطعات فولادی و چدنی) به کریستال‌های سمنتیتی (فاز سخت و شکننده Fe_3C در ساختار فولاد) با ابعاد نانومتری تبدیل می‌شود. این تغییر، بهبود خواص سیم‌های فولادی را در بر داشته و سبب افزایش استحکام، چقرمگی (انرژی جذب شده تا زمان شکست) و فرم‌پذیری سیم‌های فولادی شده است^{۱۷ و ۱۸}.

• مخترعی به نام Arthur Bahmiller، پتنتی مبنی بر جایگزینی رسوب نانومتری ترکیبات بین فلزی عناصری مانند سیلیسیم، نیکل، آلومینیم، مس و منگنز به جای کبالت در یک دسته از فولادها ارائه کرده است. این فولادها شامل فولادهای تندبر، فولادهای گرم‌کار یا سردکار مورد استفاده در تولید قالب، ورق‌های پوششی و ... هستند که نیاز به سختی خوب، مقاومت در برابر کاهش استحکام در دمای بالا و استحکام تسلیم زیاد داشته‌اند. علی‌رغم اینکه کبالت خواص مورد نیاز برای حصول این نتایج را دارد، اما این فلز قیمت بسیار بالایی دارد و معایبی نیز دارد. لذا ترکیبات بین‌فلزی عناصر مورد نظر با قیمتی پایین‌تر در ابعاد نانومتری، جایگزین کبالت در فولادهای تندبر شده‌اند^{۱۹}.

• Zhu Min در پتنتی که در سال ۲۰۰۲ ثبت کرده، روش آماده‌سازی پودرهای نانومتری آهن برای کاربردهای مختلف را بیان نموده است. روش ارائه شده توسط او یک مکانیکی-شیمیایی است که مبتنی بر کاربرد گوی‌های فولادی (برای آسیاب کردن) و افزایش مقدار معینی از یک افزودنی خاص می‌باشد. او مدعی شده است که با این روش می‌توان پودر آهن خالص با خواص شیمیایی ثابت و اندازه‌ای

کمتر از ۱۰۰ نانومتر تولید کرد^{۲۰}.

• در سال ۲۰۰۴، Nobuaki و همکارانش از موسسه فناوری نانوی ژاپن بر روی نوعی فولاد جدید آستنیتی با سختی و شکل‌پذیری بالا و مقاومت به خوردگی فوق‌العاده تحقیق نموده‌اند. آزمایش‌های آنها نشان داده است که با یک ساختار نانوکریستالی آستنیتی و محلول جامد حاوی نیتروژن می‌توان به خواص بالای مکانیکی و ... دست یافت. هم‌چنین وجود مقادیر بیشتر اکسید، نیتريد، کاربید و ... در داخل و یا مرز دانه‌های کریستالی نانویی آستنیت (یکی از ساختارهای فولاد که از محلول جامد کربن در آهن ساخته شده است.) از رشد دانه‌ها جلوگیری کرده و خواص فولاد را بهبود می‌بخشد^{۲۱}.

• در سال ۲۰۰۳، Qiang و همکارانش از دانشگاه صنعتی Wuhan روش آماده‌سازی پودر کامپوزیتی Fe-Si را به ثبت رسانده‌اند. آنها از ذرات نانومتری سیلیسیم و ذرات میکرومتری آهن به عنوان ماده اولیه استفاده کرده و از گوی‌های آسیاب برای خردکردن و مخلوط‌کردن، استفاده نموده‌اند. این پودر کامپوزیتی برای آماده‌سازی ورق‌های فولادی دارای نقره و سیلیسیم زیاد، می‌تواند استفاده شود^{۲۲}.

• Fu Jie و همکارانش از شرکت آهن و فولاد Zhujiang در چین، تحقیقاتی روی فولادهای کم کربن با چقرمگی (مقاومت به ضربه) بالا انجام داده‌اند. آنها روشی برای تهیه فولادهای پراستحکام و چقرمه‌ارایه داده‌اند که در آن تحت عملیات‌های توام حرارتی و مکانیکی می‌توان ذرات نانومتری ایجاد کرد که خواص استحکامی و مقاومت به ضربه را به فولاد موردنظر می‌دهند^{۲۳}.

• در سال ۲۰۰۳، Briane و همکارانش نوعی فولاد با استحکام بسیار بالا و مقاومت به خوردگی مطلوب عرضه کرده‌اند. در فولاد مورد نظر که حاوی مقادیر مختلفی از تعداد زیادی از عناصر آلیاژی است، روش رسوب‌دهی نانومتری جهت

افزایش استحکام به کار گرفته شده است. این افراد اعتقاد دارند که رسوب کاربیدهای نانومتری M_2C (M نماد فلزهای کاربیدساز است.) در داخل لایه‌های ریز مارتنزیتی سبب ایجاد استحکام بسیار بالایی در این فولاد می‌شود.^{۲۴}

• Yifang در سال ۲۰۰۳ روشی برای افزایش مقاومت به خوردگی فولادهای زنگ‌نزن ارائه کرده است. این شخص نشان داده که اگر فولاد زنگ‌نزن در محلول H_2SO_4 و CrO_3 قرار داده شود، یک لایه اکسیدی سبک و رنگین بر روی فولاد تشکیل می‌شود. سپس طی یک عملیات حرارتی این فیلم که ضخامت آن در حد چندین نانومتر است بر روی فولاد تثبیت می‌شود. مهمترین تاثیر این کار افزایش مقاومت به خوردگی فولاد می‌باشد.^{۲۵}

برخی پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه فناوری نانو

علاوه بر پتنت‌های ثبت شده در زمینه کاربرد فناوری نانو در محصولات فولادی، پژوهش‌های متنوعی نیز برای یافتن کاربردهایی موثر از فناوری نانو در صنعت فولاد انجام شده است. پژوهش‌های انجام شده دارای پراکندگی زیادی در دسته‌های مختلف فولاد است و نشانگر زمینه مستعد و بکر بکارگیری فناوری نانو در فولاد است. نکته قابل توجهی که پیشتر هم ذکر گردید، تلاش فراوان محققان چینی در این زمینه است. همانطور که در بخش‌های ابتدایی دیده شد، چین بزرگ‌ترین تولیدکننده و مصرف‌کننده فولاد در جهان است. تلاش محققان چینی در بکارگیری فناوری نانو را می‌توان ناشی از نگاه چینی‌ها به ایجاد محصولاتی برتر برای استفاده بهینه از منابع و سوخت و در نتیجه هزینه‌ها دانست.

• Liu از دانشگاه Auckland در ۱۹۹۷، رفتار اکسیدشوندگی فولاد زنگ‌نزن « $Cr_{25}-Ni_{20}$ » و تاثیر ایجاد پوشش نانوکریستالی بر روی آن را بررسی کرده‌اند. آزمایش‌های انجام شده نشان داده است که در شرایط یکسان دما و زمان،

اکسیدشدن در هر دو نمونه یکسان می‌باشد. اما مقاومت ورقه‌ای شدن نمونه پوشش داده شده در مقابل اکسیدشدن بیشتر است^{۲۶}.

• در سال ۱۹۹۹ گروهی از محققان موسسه فیزیک هسته‌ای چین، بر روی کاشت یون‌های تیتانیوم در فولاد «H13» تحقیق کرده‌اند. آزمایش‌های آنها نشان داده یک ساختار شاخه درختی مانند در این فولادها تشکیل می‌شود. تحت تاثیر این ساختار و با افزایش مقدار یون‌های کاشته شده، میزان خوردگی به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. همچنین آنها ساختار بدست آمده را در ۵۰۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۲۰ دقیقه تحت عملیات حرارتی قرار داده‌اند. نتایج حاکی از آن بوده است که در مقایسه با نمونه‌های معمولی و بدون کاشت یون، میزان خوردگی ۴۸ تا ۸۰ برابر کاهش می‌یابد^{۲۷}.

• در سال ۲۰۰۰، Inamura محقق ژاپنی موسسه فناوری توکیو تحقیقاتی در جهت افزایش عمر خستگی فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی ۳۱۶ انجام داده است. آزمایش‌های وی مشخص کرده است که تحت یک عملیات تبریدی می‌توان ذرات نانومتری مارتنزیت ایجاد کرد و این امر به نوبه خود سبب افزایش عمر خستگی فولادهای مذکور می‌شود^{۲۸ و ۲۹}.

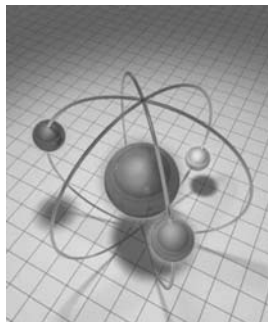
• در تحقیق دیگری که در سال ۲۰۰۱، Zhang و همکارانش در موسسه فیزیک هسته‌ای چین انجام داده‌اند، تاثیر کاشت یون‌های کربن و مولیبدن در فولاد «H13» و ایجاد ساختارهای دوفازی را بررسی کرده‌اند. تحقیقات آنها نشان داده ذرات نانومتری از ترکیب‌های مختلف این سه عنصر در یک منطقه دوفازی که در آن کاشت یون صورت گرفته است، ایجاد می‌شود و این ذرات مقاومت به خوردگی را افزایش می‌دهند^{۳۰}.

• در تحقیقی که Shimojo و Higo از موسسه فناوری توکیو انجام داده‌اند، این دو تاثیر مثبت تشکیل ذرات نانویی مارتنزیت در افزایش مقاومت به خستگی فولادها را

نشان داده‌اند. مارتنزیت حالت و ساختار پیچیده‌ای در فلزات است که در اثر سردکردن سریع آنها ایجاد می‌شود. ایجاد این ساختار در فلزات سبب افزایش استحکام فوق‌العاده آنها می‌گردد. مطالعاتی که تا سال‌های اخیر در مورد تاثیر حضور مارتنزیت در ساختار فولاد بر خواص آن انجام شده‌اند. نشان از افزایش استحکام و سختی فولادها و سایر فلزات در اثر حضور این ساختار بوده است؛ اما این مطالعات نشان دهند. تاثیر مثبت از این ساختار بر مقاومت به خستگی فولادها یا به عبارت دیگر توان فولاد برای عمر کردن هر چه بیشتر در شرایطی که در آن کار می‌کند، نبوده‌اند. شیموجو و هیگو در نتایج تحقیقات خود نشان داده‌اند، کنترل نحوه تشکیل مارتنزیت در فولادها به صورتی که این ساختار در ابعاد نانویی تشکیل گردد، سبب افزایش مقاومت به خستگی فولادها و عمرکاری آنها نیز می‌گردد.^{۳۱}

• در سال ۲۰۰۲، Ueji محقق ژاپنی دانشگاه Osaka آزمایش‌هایی را بر روی ساختار ورقهای فولادی «JIS-SS400» انجام داده است. وی نشان داده که با سیکل عملیات حرارتی کوئنچ کردن (سرد کردن سریع از دمای بالا در یک محیط خنک‌کننده) از دمای خاص آستنیت به شدن در آب و سپس شکل‌دهی سرد ساختار، ورق مارتنزیتی شده و استحکام بالایی می‌یابد. پس از فرایند مذکور، ورق در دمایی بین ۶۷۳ تا ۹۷۳ درجه سانتی‌گراد تحت عملیات آنیل کردن (گرم کردن در کوره تا دمای مورد نظر، نگهداری در مدت زمان مشخص و سپس سرد کردن در کوره) قرار می‌گیرد. این عملیات سبب ایجاد یک ساختار فریتی (محلول جامد کربن در آهن) در ابعاد ۵۰ تا ۳۰۰ نانومتر، ذرات ریز و یکنواخت سمانتیت و مارتنزیت (فاز سخت و شکننده که در اثر سریع سرد کردن فولاد ایجاد می‌شود) بازپخت شده، می‌شود و خواص بسیار خوبی شامل استحکام و شکل‌پذیری بالا ایجاد می‌کند.^{۳۲}

• Taneike از مرکز تحقیقات فولاد، در سال ۲۰۰۳ توانسته با استفاده از روش



استحکام‌دهی رسوب‌سختی، مقاومت به خزش فولادهای حاوی ۹٪ کروم را به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش دهد. آزمایش‌های او با استفاده از ذرات نانومتری کربونیتريد انجام شده است، که به روش‌های پیچیده آلیاژسازی تهیه شده بود^{۳۳}.

• محققان چینی دانشگاه Jiaotong در سال ۲۰۰۳، روی مقاومت به سایش فولادهای تندبر و روش‌های بهبود آن آزمایش‌هایی انجام داده‌اند. آنها موفق شده‌اند با استفاده از جریان مستقیم پلاسما و بخار شیمیایی، نانوکامپوزیت Si-N-Ti را به شکل لایه‌های نازک در فولادهای تندبر رسوب دهند. این عملیات سطحی، افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقاومت به سایش فولادهای مذکور در بر داشته است^{۳۴}.

• موسسه تحقیقات مواد چین، در سال ۲۰۰۳ تاثیر ریزساختار سطح فولادهای زنگ‌نزن AISI ۳۰۴ بر میزان نیترووره‌شدن (یک نوع عملیات حرارتی سطحی فولادها) آن تحقیق نموده‌اند. آزمایش شامل بررسی اثر نیترووره‌کردن دو نوع فولاد با خصوصیات سطحی مختلف و تاثیر آن بر خصوصیات سطحی فولاد بوده است. این افراد نشان داده‌اند که در یک شرایط یکسان، نمونه‌ای که لایه سطحی از ساختار نانوکریستالی دارد بسیار بهتر از نمونه عادی نیترووره شده و به عبارت دیگر به میزان فوق‌اشباع رسیده و خواص سطحی بهتری نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن بود که نمونه نانوکریستالی در مقابل انواع سازوکارهای سایش مقاومت بالایی دارد^{۳۵}.

• Liu و همکارانش از دانشگاه Panzhihua در سال ۲۰۰۳، بر روی نوعی فولاد نسوز با ساختار جدید تحقیق کرده و تاثیر افزایش ذرات نانومتری مختلف را بررسی کرده‌اند. نتایج آنها نشان داده است که TiO_2 ، SiO_2 و B_2O_3 در مقایسه با سایر رسوب‌ها خواص بهتری دارند و خاصیت نسوز شدن فولاد را بیشتر افزایش می‌دهند. هم‌چنین آنها نشان داده‌اند وقتی مقدار ذرات TiO_2 در حدود ۰.۹ درصد است، ساختار جدید بهترین خواص را نشان می‌دهد^{۳۶}.

• در سال ۲۰۰۳، Ukai محقق ژاپنی اثر افزایش ذرات نانومتری اکسیدهای مختلف را به فولادی با ۹ درصد کروم بررسی کرده است. فولاد مورد نظر نوعی فولاد روکشی است که توسط فرایند نورد سرد تهیه شده و در نهایت تحت عملیات حرارتی قرار گرفته است. آزمایش‌ها نشان داده استحکام و مقاومت در برابر خزش فولاد موردنظر افزایش یافته است. این افزایش ناشی از وجود ذرات نانومتری اکسیدهای مختلف است. هم‌چنین ذرات مذکور از رشد دانه‌های فریتی در طول عملیات حرارتی جلوگیری می‌کنند که این امر به نوبه خود باعث افزایش استحکام می‌شود^{۳۷}.

• در سال ۲۰۰۴، Zhang از شرکت چدن و فولاد Baoshan چین، توانست توسط عملیات حرارتی فراصوتی با انرژی بالا، یک لایه در ابعاد نانوکریستالی روی سطح فولادهای حاوی ۴۰٪ کروم ایجاد کند. نتیجه این سیکل عملیات حرارتی افزایش خواص مکانیکی سطح، خصوصاً سختی است. این شیوه، سختی سطحی را تا حدود ۸۰ GPa بالا می‌برد^{۳۸}.

• Qin و همکارانش در دانشگاه Chongqing چین، روی افزایش ذرات نانومتری نیکل به فولاد زنگ‌نزن و تاثیر آن بر خواص جوشکاری، خصوصاً جوشکاری نفوذی تحقیق کرده‌اند. این افراد نشان داده‌اند که با افزایش نیکل میزان شکل‌پذیری و استحکام بعد از اتصال، به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته و نتایج بهتری

حاصل می‌شود^{۳۹}.

• در سال ۲۰۰۴، گروهی از محققان ژاپنی بر روی تشکیل ساختارهای نانوکریستالی ناشی از تغییر شکل پلاستیکی فولادها تحقیق نموده‌اند. آزمایش‌های آنها نشان داده است منطقه نانوکریستالی تشکیل شده دارای خصوصیات زیر می‌باشد:

۱- دارای دانه‌هایی کوچک‌تر از ۱۰۰ nm.

۲- سختی بسیار بالا.

۳- عدم انحلال سمانتیت تا زمانی که این ساختار پایدار باشد.

۴- جلوگیری از تبلور مجدد (تشکیل دوباره کریستال‌ها) و یا رشد دانه در عملیات آنیل کردن^{۴۰}.

• گروهی از محققان آزمایشگاه مواد خودرو چین نیز در سال ۲۰۰۴، بر روی لایه‌های نازک نانومتری با اندازه دانه ۸۰ تا ۶۰۰ nm که با استفاده از اشعه لیزر Nd-YAG Plus بر سطح فولاد ضدزنگ «AISI ۳۲۹» تشکیل می‌شود، تحقیق کرده و انواع فازهای تشکیل شده و خواص لایه نازک را تحت این عملیات حرارتی سطحی بررسی نموده‌اند^{۴۱}.

• Liu و همکارانش از موسسه بین‌المللی تحقیقات فولاد در تحقیقی که در سال ۲۰۰۴ انجام شده، افزایش ذرات نانومتری سولفید مس به ورق‌های فولادی و تاثیر آن بر استحکام تسلیم، استحکام کششی و کارسختی را مورد بررسی قرار داده‌اند. در ادامه بین ورق‌های پس از ریختگی (ساختار ریخته‌گری شده اولیه) و آنیل شده تولیدی به روش ریخته‌گری نواری و ورق‌های نکرشده مقایسه‌ای نیز انجام شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان داده است که ورق‌های بدست آمده خواص مکانیکی بهتری دارند و با کنترل اندازه و نحوه توزیع ذرات می‌توان استحکام و کارسختی‌پذیری ورق‌ها را بهینه‌سازی کرد^{۴۲}.

مراجع

1. [HTTP://WWW.AZONANO.COM/](http://WWW.AZONANO.COM/)
2. TANEIKE M, ABE F, SAWADA K., CREEP-STRENGTHENING OF STEEL AT HIGH TEMPERATURES USING NANO-SIZED CARBONITRIDE DISPERSIONS, NATURE. 2003 JUL 17;424(6946):294-6
3. [HTTP://WWW.NANOASPEX.COM/](http://WWW.NANOASPEX.COM/)
4. WWW.NTRC.GOV
5. [HTTP://WWW.AZONANO.COM/](http://WWW.AZONANO.COM/)
6. [HTTP://WWW.JFE-HOLDINGS.CO.JP](http://WWW.JFE-HOLDINGS.CO.JP)
7. [HTTP://ARIES.UCSD.EDU](http://ARIES.UCSD.EDU)
8. [HTTP://WWW.JFE-HOLDINGS.CO.JP](http://WWW.JFE-HOLDINGS.CO.JP)
9. NKK ANNUAL REPORT 2002
10. [HTTP://WWW.NIMS.GO.JP](http://WWW.NIMS.GO.JP)
11. [HTTP://WWW.MMFX.COM/TECHNOLOGY.SHTML](http://WWW.MMFX.COM/TECHNOLOGY.SHTML)
12. [HTTP://DREXEL.EDU](http://DREXEL.EDU)
13. [HTTP://WWW.KTH.SE](http://WWW.KTH.SE)
14. [HTTP://WWW3.SANDVIK.COM](http://WWW3.SANDVIK.COM)
15. [HTTP://WWW.KTH.SE](http://WWW.KTH.SE)
16. [HTTP://YMXIANG.EBIGCHINA.COM](http://YMXIANG.EBIGCHINA.COM)
17. KAISO MASATO, MAKII KOICHI, YAGUCHI HIROSHI, IBARAKI NOBUHIKO, MINAMIDA TAKAAKI, HIGH STRENGTH AND HIGH TOUGHNESS STEEL WIRES AND METHOD FOR MAKING THE SAME, US5873958, 1997
18. KAISO MASATO, MAKII KOICHI, YAGUCHI HIROSHI, IBARAKI NOBUHIKO,

MINAMIDA TAKA AKI, HIGH STRENGTH AND HIGH TOUGHNESS STEEL WIRES AND METHOD FOR MAKING THE SAME, CA2213929, 1998

19. BAHMILLER; ARTHUR J., MARTENSITIC ALLOY STEELS HAVING INTER-METALLIC COMPOUNDS AND PRECIPITATES AS A SUBSTITUTE FOR COBALT, US6723182, 2004

20. ZHU MIN, CHE XIAOZHOU, LI BIANSHENG, PREPN OF NANOMETER GRANULAR IRON POWDER, CN1375370, 2002

21. MIYAO NOBUAKI, ODA KAZUO, MIURA HARUMATSU, MIZUTANI MASARU, OGAWA HIDENORI, KATSUMURA MUNEHIDE, NANO-CRYSTAL AUSTENITIC STEEL BULK MATERIAL HAVING ULTRA-HARDNESS AND TOUGHNESS AND EXCELLENT CORROSION RESISTANCE, AND METHOD FOR PRODUCTION THEREOF, WO2004029312, 2004

22. SHEN QIANG, ZHANG DONGMING, ZHANG LIANMENG, METHOD FOR PREPARING SILICON-IRON COATING TYPE COMPOSITE POWDER, CN1433860, 2003

23. NANO-SCALE CARBIDE AND STRENGTHENING EFFECT IN LOW CARBON STEEL PRODUCED BY CSP PROCESS

FU, JIE (UNIV. OF SCI. AND TECHNOL. BEIJING); KANG, YONGLIN; LIU, DELU; ZHOU, DEGUANG; WANG, ZHONGBING; CHEN, GUIJIANG SOURCE: BEIJING KEJI DAXUE XUEBAO/JOURNAL OF UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY BEIJING, V 25, N 4, AUGUST, 2003, P 328-331

24. TUFTS BRIAN E, JOU HERNG-JENG, OLSON GREGORY B, KUEHMANN CHARLES J, NANO-PRECIPIATION STRENGTHENED ULTRA-HIGH STRENGTH CORROSION RESISTANT STRUCTURAL STEELS, WO2004108970, 2004

25. WANG YIFANG, PROCESS FOR PRODUCING LIGHT INTERFERENCE COLOUR STAINLESS STEEL WITH ANTI-FOULING NANO FILM, CN1458301, 2003

26. LIU, ZHENYU, GAO, WEI, DAHM, KARL, HE, YEDONG, OXIDATION BEHAVIOUR OF CR25-NI20 STAINLESS STEEL WITH NANO-CRYSTALLINE SURFACE COATINGS, HIGH TEMPERATURE MATERIALS AND PROCESSES, V 16, N 3, JUL-SEP, 1997, P 159-168

27. ZHANG, TONGHE, WU, YUGUANG, DENG, ZHIWEI, MA, FURONG, WANG, XIAOYAN, LIANG, HONG, ZHOU, GU, ZHAO, WEIJIANG, XUE, JIANMING, THE

CORROSION BEHAVIOR OF NANO-METER EMBEDDED PHASE IN TI IMPLANTED H13 STEEL, SCIENCE IN CHINA, SERIES E: TECHNOLOGICAL SCIENCES, V 42, N 6, DECEMBER, 1999, P 623-630

28. EXTENSION OF HIGH CYCLE FATIGUE LIFE BY THE FORMATION OF NANO-SIZED MARTENSITE PARTICLES AT INTERSECTIONS OF DISLOCATIONS IN AN AUSTENITIC STAINLESS STEEL, INAMURA, T. (PRECISION AND INTELL. LAB., TOKYO INST. OF TECHNOLOGY); SHIMOJO, M.; TAKASHIMA, K.; HIGO, Y. SOURCE: MATERIALS RESEARCH SOCIETY SYMPOSIUM - PROCEEDINGS, V 634, 2001, P B3.13.1-B3.13.6

29. MORPHOLOGY AND CRYSTALLOGRAPHY OF NANO-SIZED ? PRIME - MARTENSITE IN AN AUSTENITIC STAINLESS STEEL, INAMURA, T. (TOKYO INSTITUTE OF TECHNOLOGY); TAKASHIMA, K.; HIGO, Y. SOURCE: JOURNAL DE PHYSIQUE. IV : JP, V 112 I, OCTOBER, 2003, P 333-336

30. ZHANG, T., WU, Y., YI, Z., ZHANG, X., WANG, X., NANO-PHASES AND CORROSION RESISTANCE OF C + MO DUAL IMPLANTED STEEL, SCIENCE IN CHINA, SERIES E: TECHNOLOGICAL SCIENCES, V 44, N 4, AUGUST, 2001, P 383-388

31. Y. HIGO, T. INAMURA, M. SHIMOJO AND K. TAKASHIMA; A NEW FATIGUE LIFE EXTENSION METHOD USING NANO-SIZED MARTENSITES IN AUSTENITIC STAINLESS STEELS

32. MECHANICAL PROPERTIES OF NANO-STRUCTURED PLAIN LOW-CARBON STEELS PRODUCED BY CONVENTIONAL COLD-ROLLING AND ANNEALING OF MARTENSITE STARTING MICROSTRUCTURE, UEJI, R. (DEPT. OF ADAPTIVE MACHINE SYSTEMS, OSAKA UNIV.); TSUJI, N.; MINAMINO, Y.; KOIZUMI, Y.; SAITO, Y. SOURCE: TMS ANNUAL MEETING, 2002, P 399-408

33. CREEP-STRENGTHENING OF STEEL AT HIGH TEMPERATURES USING NANO-SIZED CARBONITRIDE DISPERSIONS, TANEIKE, MASAKI (STEEL RESEARCH CENTER, NATL. INST. FOR MATERIALS SCIENCE); ABE, FUJIO; SAWADA, KOTA SOURCE: NATURE, V 424, N 6946, JUL 17, 2003, P 294-296

34. MA, DA-YAN, WANG, XIN, MA, SHENG-LI, XU, KE-WEI, XU, TAO, FRICTION AND WEAR CHARACTERISTICS OF NANO-STRUCTURED TI-SI-N FILMS ON A HIGH SPEED STEEL SUBSTRATE PREPARED BY PULSED-DIRECT CURRENT PLASMA ENHANCED CHEMICAL VAPOR DEPOSITION, MOCAXUE XUEBAO/TRIBOLOGY, V 23, N 6, NOVEMBER, 2003, P 476-479

35. MA, DA-YAN, WANG, XIN, MA, SHENG-LI, XU, KE-WEI, XU, TAO, FRICTION

AND WEAR CHARACTERISTICS OF NANO-STRUCTURED TI-SI-N FILMS ON A HIGH SPEED STEEL SUBSTRATE PREPARED BY PULSED-DIRECT CURRENT PLASMA ENHANCED CHEMICAL VAPOR DEPOSITION, MOCAXUE XUEBAO/TRIBOLOGY, V 23, N 6, NOVEMBER, 2003, P 476-479

36. LIU, GUO-QIN, ZOU, MIN, WANG, JUN, WANG, QI-LIN, ZHAO, YING-TAO, A RESEARCH ON THE PROPERTY-CHANGE OF THE NEW-TYPE STEEL-STRUCTURAL FIREPROOF DOPE OF USING NANO MATERIALS, JOURNAL OF THE CHENGDU INSTITUTE OF TECHNOLOGY, V 30, N 4, AUGUST, 2003, P 413-416

37. UKAI, SHIGEHARU, KAITO, TAKEJI, OHTSUKA, SATOSHI, NARITA, TSUYOSHI, FUJIWARA, MASAYUKI, KOBAYASHI, TOSHIMI, PRODUCTION AND PROPERTIES OF NANO-SCALE OXIDE DISPERSION STRENGTHENED (ODS) 9CR MARTENSITIC STEEL CLADDINGS, ISIJ INTERNATIONAL, V 43, N 12, 2003, P 2038-2045

38. ZHANG, JUN-BAO, LIU, ZHI-WEN, SONG, HONG-WEI, WU, JIE, SHI, BI, XIONG, TIAN-YING, MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF 40CR STEEL NANO-CRYSTALLIZED SURFACE AFTER HIGH ENERGY PEENING, HANGKONG CAILIAO XUEBAO/JOURNAL OF AERONAUTICAL MATERIALS, V 24, N 6, DECEMBER, 2004, P 11-15

39. QIN, BIN, SHENG, GUANG-MIN, HUANG, JIA-WEI, ZHOU, BO, QIU, SHAO-YU, LI, CONG, APPLICATION OF NICKEL NANO-PARTICLES IN THE DIFFUSION BONDING OF TITANIUM ALLOY AND STAINLESS STEEL, HEDONGLI GONGCHENG/NUCLEAR POWER ENGINEERING, V 25, N 5, OCTOBER, 2004, P 457-462

40. UMEMOTO, M., TODAKA, Y., TSUCHIYA, K., NANO-GRAINED STEELS PRODUCED BY VARIOUS SEVER PLASTIC DEFORMATION PROCESSES, ULTRAFINE GRAINED MATERIALS III, ULTRAFINE GRAINED MATERIALS III, 2004, P 241-246

41. YANG, JING, LIAN, JIANSHE, DONG, QIZHI, GUO, ZUOXING, NANO-STRUCTURED FILMS FORMED ON THE AISI 329 STAINLESS STEEL BY ND-YAG PULSED LASER IRRADIATION, APPLIED SURFACE SCIENCE, V 229, N 1-4, MAY 15, 2004, P 2-8

42. LIU, ZHONGZHU, KOBAYASHI, YOSHINAO, NAGAI, KOTOBU, EFFECT OF NANO-SCALE COPPER SULFIDE PARTICLES ON THE YIELD STRENGTH AND WORK HARDENING ABILITY IN STRIP CASTING LOW CARBON STEEL, MATERIALS TRANSACTIONS, V 45, N 2, FEBRUARY, 2004, P 479-487