

## فولاد آمیخته : اهمیت، انواع و موارد مصرف

دکتر خطیب الاسلام صدرنژاد

عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی متالورژی، دانشگاه صنعتی شریف

### خلاصه:

فولاد آمیخته به لحاظ گوناگونی در انواع، تنوع در خواص و گستردگی در موارد مصرف در نیل به خود اتکایی و استقلال فنی و اقتصادی کشور نقش مهمی دارد. میزان نیاز برآورده این ماده اساسی و مورد مصرف در صنایع کلیدی کشور به صورت مقاطع نیمه ساخته، هم اکنون، بیش از ۱۰۰ هزار تن در سال است. میزان نیاز برآوردنی آن به مراتب بالاتر از این مقدار تخمین زده می شود. تولید فولاد آمیخته در سطح بین المللی، از نظر اقتصادی، پرسودتر از فولادهای پایه ای و معمولی است. از این رو کشورهای پیشرفته صنعتی می کوشند بخشی از ظرفیت تولید خود را به فولادهای آمیخته اختصاص دهند. در کشور ما به لحاظ نیاز صنایع داخلی به این نوع فولادها و نیز ضرورت دستیابی به فن-شناخت (تکنولوژی) تولید آنها، احداث و توسعه واحدهای تولید این نوع فولادها ضروری به نظر می رسد.

### مقدمه:

مصرف سرانه آنها، نشان دهنده درجه رشد اقتصادی و میزان پیشرفت صنعت است. از طرف دیگر، در اختیار داشتن فن-شناخت (تکنولوژی) تولید آنها، گامی بس بلند به سوی رهایی از وابستگی و نیل به خود اتکایی و استقلال فنی کشور است. امروزه تنها معدودی از کشورهای جهان توانایی تولید انواع فولادهای آمیخته را دارند. تکنولوژی تولید این فولادها

فولادها از مهمترین مواد اولیه مورد مصرف در صنایع کشورند و عمدتاً "به دو دسته کربنی ساده و آمیخته تقسیم می شوند. فولادهای آمیخته به لحاظ تنوع در خواص و ویژگی در موارد مصرف، از اهمیت خاصی برخوردارند. به طوری که

تولیدشان بتوانند بازده عملیات و قدرت رقابت خود را با واحدهای بهره‌مند از تکنولوژی‌وروشهای مدرن، بالا ببرند. کشورهای بهره‌مندی از تکنولوژی‌وروشهای شمالی که از دیرباز به ساختن فولاد آمیخته اشتغال دارند، به دلیل سرپا بودن تأسیسات و واحدهای قدیمی خود و چه به علت ضرورت سرمایه‌گذاری گهگاه زیاد برای نوسازی خطوط تولید، در سالهای گذشته تمایل چندانی به تبدیل روشهای کهنه به نو نشان نداده‌اند. اما اکنون در اثر فشارهای شدید ناشی از رقابت‌های بین‌المللی بر سر تولید فولاد مرغوب و ارزان، ناگزیرند به استفاده از شیوه‌های نوین تولید فولاد، تن در دهند. در چنین حالی، البته کشورهایمانند کشور ما که هیچیک از روشهای کهنه یا نوین تولید فولاد آمیخته را ندارند، در صورت تمایل به سرمایه‌گذاری در زمینه تولید این فولادها، ناگزیر می‌باید از جدیدترین یافته‌های علمی و فنی در زمینه تولید این نوع فولادها سود بجویند و به انتخاب شیوه‌هایی دست‌بزنند که شانس ورود آنها را به بازارهای جهانی فولاد در شرایط پیچیده سالهای آتی تضمین کند. برای تولید فولاد مرغوب و ارزان راهی جز استفاده از آخرین دستاوردهای علمی و فنی در زمینه ذوب، تصفیه و آلیاژی کردن این مواد، در مقطع خاص کنونی، به نظر نمی‌رسد.

کشورهای بازمانده از پیشرفت صنعتی، برای رهایی از وابستگی‌های علمی و فنی، راهی جز سرمایه‌گذاری‌های بیشتر در زمینه‌های علمی و تحقیقاتی ندارند. امروز، اگر این کشورها، جریمه عقب‌ماندگی خود را برای تحصیل دانش جدید و تحقیق در مورد شیوه‌های نو نپردازند، فردا یقیناً "مجبور به پرداخت بهای گزاف‌تری خواهند شد. پیشرفت سریع فن - شناخت در زمینه تولید و مصرف فولادهای بسیار مرغوب آمیخته، نمونه بارزی از گسترش تصاعدی گنجینه‌های علم و هنر بشری است. این گسترش نیز نشانگر تلاش بی‌وقفه بشر برای اعمال سیطره فکری خود بر خاک بیجان است که نزد او به‌ودیه نهاده شده که اگر می‌دانست چه استعداد‌های بیکرانی در دل همین خاک بی‌جان نهفته است، چه بسا بر تلاش خود صد چندان می‌افزود تا شاید این بار را به سلامت به سر منزل مقصود برساند.

نیز متعلق به چند کمپانی مشهور و با سابقه است که به دلیل اطلاعات و تجربه فراوان خود در ساختن فولادهای آمیخته، تقریباً "انحصار تولید انواع بسیار مرغوب این فولادها را در جهان در اختیار دارند.

رشد فن - شناخت تولید و موارد مصرف فولادهای آمیخته در چند دهه اخیر به اندازه‌های سریع بوده است که حتی برخی کشورهای پیشرفته جهان نیز در همگامی با آن دچار اشکال شده‌اند. رشد تکنولوژی تولید را می‌توان عمدتاً "در چند زمینه زیر خلاصه کرد:

- اتخاذ روشهای نوین ذوب و تصفیه مانند استفاده از کوره‌های الکتریکی با توان بس بالا UHP، کوره‌های قوس الکتریکی با جریان مستقیم DCA و کوره‌های پاتیلی . LF. ۱۵ و ۱۱۹۱۰
- به‌کار بردن روشهای مدرن برای کاهش ناخالصیها و افزودن عناصر آمیختگی مانند تزریق همزمان مواد توسط سیم ۱۱ و ۱۰.
- به‌کارگیری فن - شناخت پیشرفته کنترل خودکار مانند استفاده از میکروپروازها در فرایند تولید ۱۶ و ۱۲.
- استفاده از روشهای پیوسته مانند ریخته‌گری پیوسته افقی ۱۴ و ۱۳.

از نظر کیفی، رشد موارد مصرف فولادهای آمیخته عمدتاً "در زمینه کاربردهای خاص از قبیل کاربردهای مربوط به صنایع نظامی، راکتورهای هسته‌ای، ساختمانهای بزرگ فلزی، صنایع هواپیما سازی، صنایع کشتی‌سازی، صنایع فضایی و خطوط لوله نفت و گاز بوده است. برای مثال می‌توان از کاربرد فولادهای پراستحکام کم آمیخته و فولادهای بسیار کم آمیخته طی دهه گذشته در خطوط لوله و همچنین از توسعه تحقیق در مورد فولادهای ضد زنگ آستنیتی که در ساخت وسایل پرنده فضایی و راکتورهای هسته‌ای به کار می‌روند یاد کرد ۱۷ و ۱۸.

گرچه طراحی و ابداع روشهای مدرن مستلزم مطالعات و بررسیهای نظری عمیق و بسیار پیچیده است، اما از لحاظ تکنولوژی و موارد استفاده معمولاً "ضمن بهبود کیفیت و افزایش مرغوبیت محصول در جهت ساده کردن عملیات فنی است. به عبارت دیگر بیشتر پیچیدگیهای روشهای پیشرفته در توجیه نظری، در بالا بردن کیفیت محصول و ساده کردن مکانیزم فرآیندهای تولید است. از این رو اغلب واحدهائی که از روشهای قدیمی تولید فولادهای آمیخته استفاده می‌کنند، می‌کوشند با دست‌یافتن به روشهای نو و به‌کار بستن آنها در فرآیند

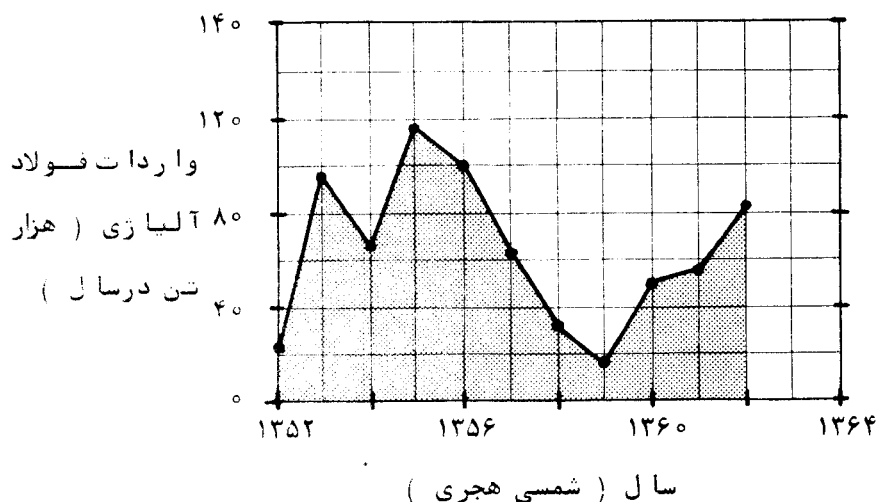
اهمیت فولاد آمیخته و نیاز کشور به آن:

اهمیت فولادهای آمیخته می‌تواند با توجه به تنوع خواص و موارد مصرف آنها روشن شود. امروزه، موارد مصرف این فولادها در تمام رشته‌های صنعت به چشم می‌خورد. صنایع خودروسازی، صنایع ابزارسازی، صنایع هواپیماسازی، صنایع کشتی‌سازی، صنایع نظامی، ساختمانهای بزرگ‌فلزی، نیروگاهها، توربینهای بخار، توربینهای گازی، پالایشگاهها، صنایع پتروشیمی، صنایع غذایی، صنایع دارویی، صنایع سازنده لوازم و تجهیزات پزشکی، صنایع شیمیایی، صنایع الکترونیک، صنایع فضایی، راکتورهای هسته‌ای و... همگی مصرف‌کننده فولادهای آمیخته‌اند. تنوع این فولادها از لحاظ نوع و موارد کاربرد به حدی زیاد است که دادن جدول کاملی از آن ناممکن به نظر می‌رسد. دربارهٔ مشخصات، خواص، و موارد مصرف فولادهای آمیخته در کتابها و نشریه‌های علمی به تفصیل بحث و بررسی شده است. ۱-۴ در بخش بعد، به توضیح کوتاهی درباره انواع و موارد کاربرد آنها خواهیم پرداخت.

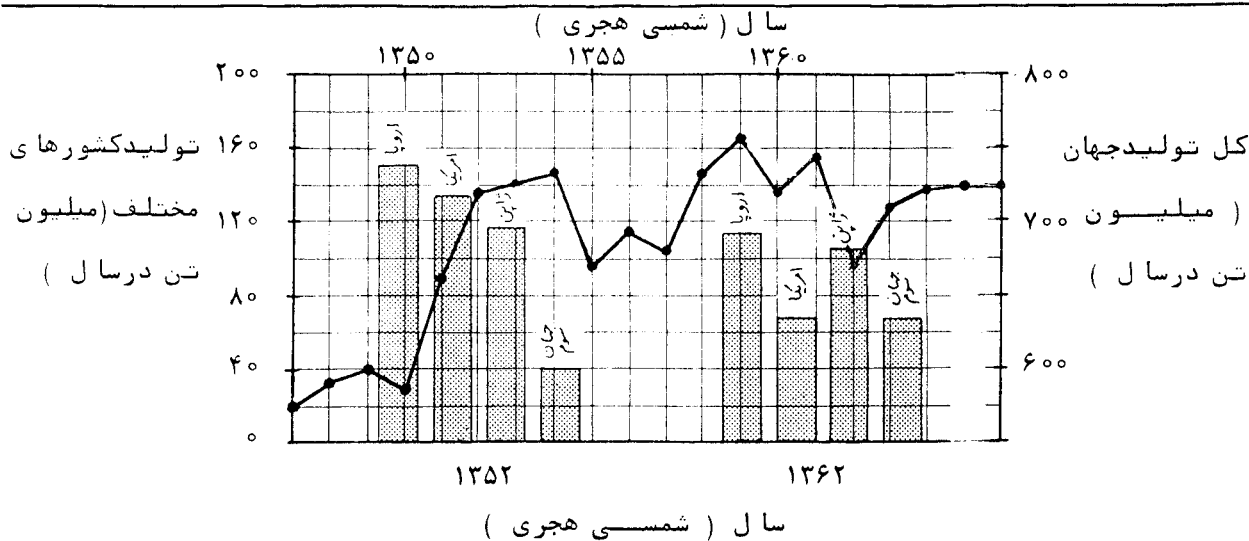
در سالهای اخیر صنایع سنگین و سبک، عمده‌ترین مصرف‌کنندگان فولاد آمیخته در کشور بوده‌اند. صنایع خودروسازی، صنایع ماشین‌سازی، صنایع معدنی، صنایع کشاورزی، صنایع شیمیایی، صنایع غذایی و صنایع وابسته به راه‌وساختمان، طی ده سال گذشته، بیشترین مصرف مقاطع نیمه‌ساخته این نوع

فولاد را به خود اختصاص داده‌اند. ۴ اگرچه کل میزان مصرف فولاد آمیخته در سالهای گذشته در داخل کشور، عموماً کمتر از ۱۰۰ هزار تن در سال بوده‌است، اما نیاز بالقوه به این ماده مهم و اساسی بسیار بیشتر از این مقدار به نظر می‌رسد. سیران واردات فولاد آمیخته به صورت مقاطع نیمه‌ساخته، طی دهه ۱۳۶۲ - ۱۳۵۲ را شکل ۱ نشان می‌دهد. ۴ بدیهی است که افت میزان واردات در سالهای پس از پیروزی انقلاب اسلامی، به لحاظ عوامل متعددی از جمله تحریم اقتصادی، کاهش فعالیت صنایع ماشین‌سازی و صنایع مونتاژ و بذل توجه به اولویت تولیدات نظامی که اطلاعات مربوط به آنها در شکل ۱ درج نشده، بوده‌است و فقط مربوط به وضع استثنایی سالهای مزبور است. با ورود صنایع جدید مصرف‌کننده فولاد آمیخته مانند صنایع استخراج و انتقال، صنایع معدنکاری، صنایع تولید فلزات، صنایع حمل‌ونقل، صنایع کشتی‌سازی، صنایع ساخت جراثقالها، نقاله‌ها و برجهای انتقال نیرو، صنایع هسته‌ای و صنایع هواپیماسازی به‌بازار مصرف و نیز با تشدید فعالیت‌های فنی و تولیدی واحدهای صنعتی موجود، قطعاً "نیاز به فولادهای آمیخته چه از نظر کمی و چه از نظر کیفی افزایش خواهد یافت و اهمیت این ماده حیاتی در رشد و توسعه فنی و اقتصادی کشور هرچه بیشتر آشکار خواهد شد.

برای روشن‌تر شدن اهمیت فولاد آمیخته و ضرورت احداث و توسعه واحدهای صنعتی تولیدکننده آن، کافی است



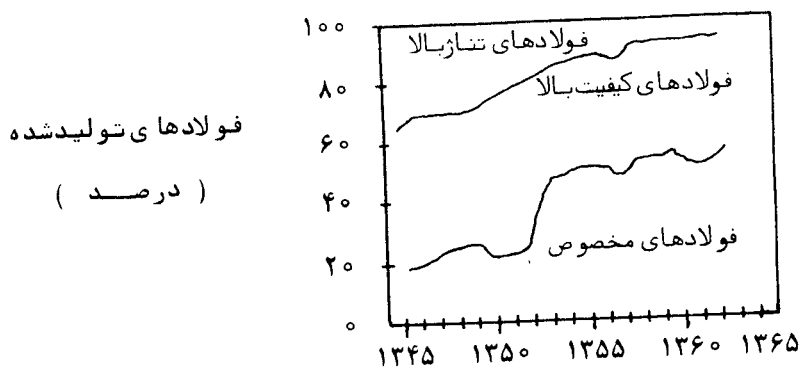
شکل (۱) - کل واردات فولاد آمیخته به صورت مقاطع نیمه‌ساخته طی دهه ۱۳۶۲ - ۱۳۵۲ به استثنای مصارف نظامی.



شکل (۲) - روند تولید فولاد در جهان<sup>۱</sup>.

اهداف صنایع بزرگ سازنده فولاد، به تولید فولادهای آمیخته و مخصوص ختم نمی‌شود. تولید فولادهای آمیخته بسیار مرغوب و بسیار خالص که از نظر کیفیت و خواص در سطحی بسیار عالی قرار داشته باشند، امروزه جزء مهمی از برنامه تولید این صنایع را تشکیل می‌دهد. تنها این نوع فولادها هستند که می‌توانند با مواد جایگزین به رقابت برخاسته، بازارهای از دست رفته فولاد را مجدداً به چنگ آورند. امروز دیگر برکسی پوشیده نیست که تولید فولادهای معمولی و پایه‌ای با حجم زیاد و تنوع کم نمی‌تواند در سطح بین‌المللی سودآور تلقی شود. برعکس تولید فولادهای با کیفیت بسیار بالا، عرضه محصولات ابتکاری بر مبنای نیازهای جدید مصرف‌کنندگان، و حرکت به سمت حذف ظرفیتهای بی‌بازده می‌تواند بر میزان سودآوری این صنایع به شدت بیفزاید.

به وضعیت صنایع بزرگ فولادسازی جهان توجه شود. در حالی که در پیشرفته‌ترین این صنایع به دلیل رکود اقتصادی بازار جهانی فولاد، از سال ۱۳۵۴ (۱۹۷۵) سیاست کاهش میزان تولید فولادهای پایه‌ای را در پیش گرفته‌اند (شکل ۲)، معیذاً به افزایش ظرفیت فولادهای آمیخته به ویژه فولادهای پر آمیخته و فولادهای بسیار مخصوص توجهی خاص معطوف می‌دارند<sup>۲</sup>. برای مثال کمپانی کروپ Krupp طی دو دهه گذشته برای تغییر نوع تولیدات خود از فولادهای پایه‌ای به فولادهای آمیخته تلاش زیادی کرده است (شکل ۳). کروپ همچنین کوشیده است شکل محصولات خود را از مقاطع فولادی غیر تخت به مقاطع تخت سوق دهد زیرا بانجام کار بیشتر و دقیق‌تر بر فولاد، امکان افزایش درآمدهای حاصل از تولید هر تن فولاد برایش فراهم می‌شود.



شکل (۳) - سرعت رشد فولادهای مخصوص کروپ طی ۲۰ سال گذشته<sup>۱</sup>.

داخل کشور، سبب بی‌نیاز شدن بسیاری از صنایع مهم بنیادی کشور مانند صنایع نظامی، صنایع نفت، صنایع واسط و صنایع حمل و نقل از تولیدکنندگان خارجی می‌شود و گامی است در جهت استفاده هرچه بیشتر از منابع مواد خام داخلی و استعداد های سرشار نیروی جوان و خلاق کشور.

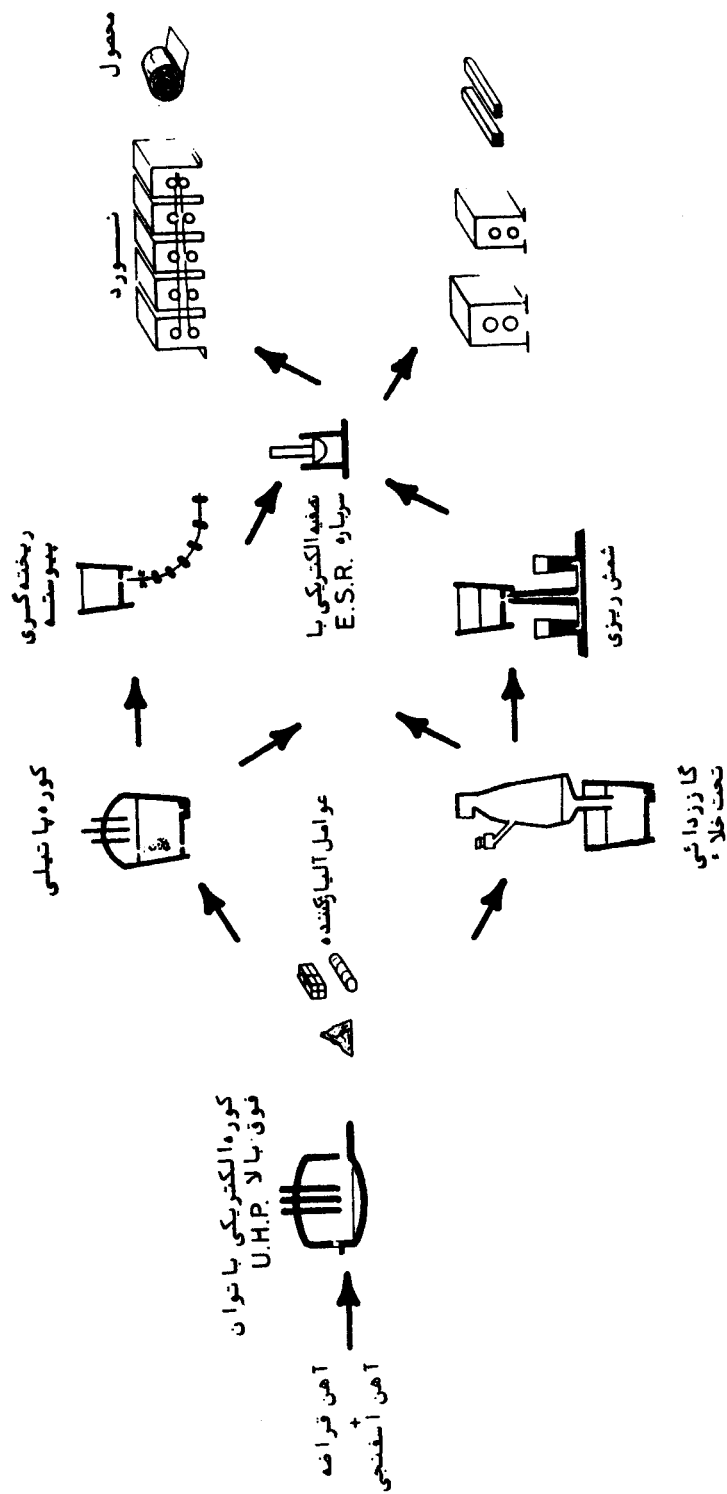
### تعریف فولاد آمیخته و انواع آن :

" فولاد آمیخته " به گروهی از فولادها اطلاق می‌شود که خواص مشخصه شان ناشی از حضور عنصر یا عناصری غیر از کربن و یا درصد های بالاتر عناصری مانند منگنز و سیلیسیم نسبت به فولادهای کربنی ساده است. فولادهای کربنی ساده اگر چه مطابق این تعریف، می‌توانند (طبق استاندارد AISI) تا ۱/۶۵ درصد منگنز، تا ۰/۶۰ درصد سیلیسیم و تا ۰/۶۰ درصد مس و نیز مقادیر کمتری از سایر عناصر داشته باشند اما آمیخته خوانده نمی‌شوند. زیرا اولاً " درصد منگنز، سیلیسیم و سایر عناصر موجود در آنها، کمتر از درصدی است که برای آمیخته شدنشان لازم است، و ثانیاً " اگر برخی از این عناصر به آنها اضافه شود تنها به منظور زدودن عناصر ناخالصی مانند اکسیژن و گوگرد از فولاد است. اگر افزایش چنین عناصری به فولاد برای بهبود خواص فیزیکی، مکانیکی، یا شیمیائی باشد، به فولاد تولید شده، " فولاد آمیخته " و به عناصر افزوده شده، " عناصر آمیختگی " گفته خواهد شد. عناصر آمیختگی ممکن است تا میزان ۵۰ درصد با هدف بهبود خواص متالورژیکی، از قبیل استحکام Strength، قابلیت سخت شدن Hardenability، خاصیت چقرمگی Toughness، مقاومت در برابر خوردگی، مقاومت در برابر حرارت، خواص الکتریکی و خواص مغناطیسی، به فولاد اضافه شوند.

فولادهای آمیخته را عمدتاً " به سه دسته کم آمیخته Low Alloy، آمیخته Alloy، و پر آمیخته High Alloy تقسیم می‌کنند. دسته اول که به دلیل داشتن مقاومت تسلیم بالا به فولادهای پر استحکام کم آمیخته High Strength Low Alloy یا HSLA معروف اند، جمعاً " تا حدود ۲ درصد عناصر آمیختگی دارند. این نوع فولادها به واسطه استحکام و مقاومت تسلیم بالای خود از کاربردهای فراوانی برخوردارند. از جمله در ساخت

روند تغییرات فنی در صنایع بزرگ و پرسابقه تولید فولاد جهان، امروزه در تبدیل و تجهیز خطوط تولید موجود به خطوط تولید مدرن و پیشرفته، برای افزایش بازده و کاهش میزان هزینه‌هاست. علاوه بر این کم کردن ظرفیتهای جهت افزایش تنوع محصولات، بالا بردن انسجام و هماهنگی و فشرده تر کردن اجزاء فرایند تولید جهت کاهش فضاهای راکد و بی‌بازده، و بالاخره گزیدن " تناژ سود ده " به جای " تناژ بالا "، هدف اساسی صنایع فولاد کشورهای پیشرفته دنیا قرار می‌گیرد. در همین راستاست که همه روزه شاهد پیشرفتهای جدید در صنعت فولاد سازی از جمله پیشرفت در فرایندهای متالورژی ثانویه، ذوب با قوس پلاسما، ریخته‌گری پیوسته افقی، تصفیه الکتریکی همراه با سرباره ESR، و... هستیم. تولید فولادهای آمیخته بسیار مرغوب به کنترل دقیق و ساده عملیات نیاز دارد. از متداولترین روشهای مدرن تولید این نوع فولادها می‌توان روش متالورژی پاتیل Ladle Metallurgy (شکل ۴) را نام برد. در این روش، با استفاده از کوره قوس الکتریکی مواد خام آهن دار مانند قراضه فولاد و آهن اسفنجی را ذوب کرده، سپس در کوره های پاتیلی Ladle Furnace مواد محتوی عناصر آمیختگی را به آنها می‌افزایند. استفاده از فرآیندهای مختلف جهت زدودن عناصر ناخالصی و گازهای محلول در فولاد مانند عملیات گاز زدایی در خلا، دمیدن گاز خنثی، تزریق پودر باینیزه، تغذیه مواد افزودنی به صورت سیم، به هم زدن الکترومغناطیسی و تصفیه الکتریکی با سرباره نیز در تولید این نوع فولادها بسیار متداول است. فولاد حاصل می‌تواند به هر دو روش ریخته‌گری منقطع و ریخته‌گری پیوسته، به شمش تبدیل شود.

در کشور ما که به دلیل فزونی میزان مصرف بر میزان تولید، احداث واحدهای تولید فولاد پایه‌ای و معمولی موجه است، ضرورت تولید فولادهای آمیخته و فولادهای کیفیت بالا، چه به دلیل نیازهای داخلی و چه بنا بر ضرورت دست یافتن به فن - شناخت (تکنولوژی) تولید این نوع فولادها، قطعاً " توجیه پذیر است. دستیابی به فن - شناخت (تکنولوژی) تولید فولادهای آمیخته، نه تنها در رسیدن به خود اتکالی و استقلال اقتصادی کشور می‌تواند تأثیر بسزایی داشته باشد، بلکه گامی اساسی در جهت نیل به استقلال علمی و رهایی از وابستگی های فن - شناختی جامعه علمی و فنی کشورمان به خارج، می‌باید به شمار آید. تولید این ماده حیاتی و بسیار مهم در



شکل (۴) - روش تولید فولادهای مرغوب از طریق متالورژی پاتیل

کاربرد خاص، نیز شناخته شده‌اند که به‌قرار زیرند:

- کم‌کربن‌مارتنزیتی - برای ساخت لوله‌های فشار بالا، قطعات حفاری و معدنکاری، قطعات اصلی ساختمانهای بزرگ فلزی، و . . . .

- کم‌کربن سخت و تمپر شده - برای کاربردهای خاص مانند مصارف حساس نظامی، مصارف دریایی، مصارف فضایی، قطعات رئاکتورهای هسته‌ای، لوله‌های فشار بالا، و . . . .
- کم‌کربن سخت‌شونده در زمان Maraging - دارای

کاربرد در صنایع ساخت خودرو و صنایع دریایی.

گروه فولادهای ابزار که سه دسته کم‌آمیخته، میانه - آمیخته، و تندبر High Speed را شامل‌اند عناصر کاربیدزایی مانند تنگستن، مولیبدن و وانادیم دارند، و به‌علت مقاومت سایشی بالا در ساخت اسکنه‌ها، قیچیها، وسایل اندازه‌گیری، ابزار و قلمهای ماشینهای تراش و فرز، و مانند آنها به‌کار می‌روند. سایر فولادهای آمیخته و پیرآمیخته که برحسب موارد مصرف به فولادهای ضدزنگ، مقاوم در برابر حرارت، و الکتریکی تقسیم شده‌اند، فولادهای مخصوص نیز گفته می‌شوند و هر یک چند زیرگروه دارند. مثلاً "فولادهای ضدزنگ از لحاظ ساختمان کریستالی به ضدزنگ مارتنزیتی، ضدزنگ فریتی و ضدزنگ آستنیتی و از لحاظ ترکیب شیمیایی به چهار زیرگروه کرمی، کرم-نیکلی، کرم-نیکل - منگنز، و کرم - منگنز - نیتروژنی تقسیم بندی شده‌اند. فولادهای مقاوم در برابر حرارت نیز فولادهای کربنی، آمیخته و ضدزنگ مقاوم در برابر حرارت را شامل‌اند. این فولادها در ساخت لوله‌های تقطیر، مبدلهای حرارتی، بویلرها و محیطهایی که دمای آنها به حدود ۵۰۰ درجه سانتیگراد می‌رسد، به‌کار می‌روند. فولادهای الکتریکی نیز که در صنایع تولید برق مانند نیروگاهها و در وسایل الکتریکی به‌کار می‌روند. ۵/۵ تا ۵ درصد سیلیسیم دارند و عمدتاً "به‌صورت ورق برای ساخت قطعاتی که هسته مغناطیسی دارند، ساخته می‌شوند.

انواع فولادهای آمیخته و موارد مصرف آنها را شکل ۵ به اختصار نشان می‌دهد. در این شکل، فولادهای آمیخته از نظر کاربرد، به ۶ گروه عمده تقسیم شده‌اند. تقسیم بندیهای جزئی تر برخی از گروهها نیز در شکل دیده می‌شوند. این تقسیم بندیها که گهگاه براساس ترکیب شیمیایی، ساختمان شبکه کریستالی، و نوع مصرف انجام شده‌اند، فقط فولادهای آمیخته را در بر نمی‌گیرند، بلکه در برخی موارد، فولادهای

وسایل حمل و نقل مانند واگنهای راه‌آهن، پلهای فلزی، دکلهای فشار قوی و مخابرات، تانکرهای حمل مواد شیمیایی و به‌طور کلی در هر جا که استفاده از مواد کم‌وزن و پراستحکام موجه باشد به‌کار می‌روند. از نظر نوع عناصر آمیختگی، فولادهای کم‌آمیخته را می‌توان به چندین گروه: کم‌آمیخته منگن‌دار، کم‌آمیخته کرم‌دار، کم‌آمیخته کرم و منگن‌دار، کم‌آمیخته مولیبدن‌دار، کم‌آمیخته کرم و مولیبدن‌دار، کم‌آمیخته نیکل - کرم و مولیبدن‌دار، و . . . تقسیم کرد. این آلیاژها کاربردی بسیار گسترده دارند و عمدتاً "در ساخت ادوات کشاورزی، وسایل حمل و نقل، قطعات خودرو و مانند آنها به‌کار می‌روند. برخی از موارد خاص مصرف آنها در ساخت جعبه دنده‌ها، ساچمه‌های بلبرینگ، و محورهای وسایل نقلیه است. اصطلاح "بسیار کم‌آمیخته" Microalloy برای فولادهایی به‌کار می‌رود که به‌علت داشتن مقادیر بسیار جزئی (کمتر از ۱/۵ درصد) برخی عناصر آمیختگی ویژه مانند کلمیوم، وانادیم، تیتانیوم، سریوم و بر در ترکیب شیمیایی خود، از خواص بسیار عالی فیزیکی و مکانیکی برخوردارند. امروزه فولادهای بسار کم‌آمیخته کاربردهای وسیعی بخصوص در ساخت خطوط لوله به‌دست آورده‌اند و در حالی که صنعت فولاد دنیا با یک بحران بزرگ اقتصادی روبروست، برای فولادهای بسیار کم‌آمیخته می‌توان آینده‌ای روشن پیش‌بینی کرد.<sup>۵</sup>

فولادهای دسته دوم که میانه - آمیخته - Medium Alloy نیز نامیده می‌شوند، جمعاً "تأحدود ۱۰ درصد عناصر آمیختگی و فولادهای دسته سوم یا فولادهای پیرآمیخته، ۱۰ درصد یا بیشتر عناصر آمیختگی دارند. این فولادها برحسب موارد مصرف به فولادهای ساختمانی، ابزار، ضد زنگ، مقاوم در برابر حرارت، و الکتریکی نیز دسته بندی شده‌اند. فولادهای ساختمانی حدود ۱ تا ۴ درصد عناصر آمیختگی همراه داشته در میان سایر انواع فولادهای آمیخته، پرمصرف‌ترین به‌حساب می‌آیند. این فولادها قابلیت عملیات حرارتی زیادی داشته در ساخت قطعات موتور خودرو، موتور هواپیما، جعبه دنده، و به‌طور کلی قطعات سنگین به‌کار می‌روند. مشخصات انواع این فولادها را انجمن مهندسين خودرو SAE و نیز انستیتوی آهن و فولاد آمریکا AISI تدوین کرده و در نشریات خود آورده‌اند. علاوه بر انواعی که این انجمنها مشخص کرده‌اند، چند نوع فولاد ساختمانی دیگر با

کربنی را نیز شامل می‌شوند. در تقسیم‌بندی فولادهای آمیخته، از روشهای دیگری نیز استفاده می‌شود، که برخی از آنها اهمیت زیاد و کاربردهای فراوان دارند. فولادها به‌ویژه فولادهای آمیخته به روشهای گوناگونی طبقه‌بندی شده‌اند. برخی از این روشها به‌قرار زیرند:

- طبقه‌بندی براساس کاربرد.
- طبقه‌بندی براساس ترکیب شیمیایی.
- طبقه‌بندی براساس نوع عملیات اکسیژن‌زدایی.
- طبقه‌بندی براساس روش ریخته‌گری و انجماد فولاد مذاب.
- طبقه‌بندی براساس شکل مقطع محصول.

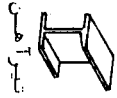

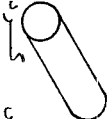

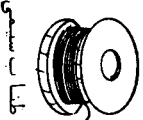
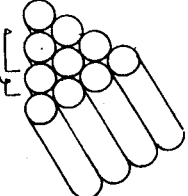


ملاک طبقه‌بندی در روش اول، موارد کاربرد است. مثلا " فولاد فنر، به آن دسته از فولادها اطلاق می‌شود که کشیدگی (الاستیسیته) قابل ملاحظه‌ای دارند و در ساخت فنر به‌کار می‌روند. یا منظور از فولاد تندبر، آن دسته از فولادهاست که به دلیل مقاومت زیاد در مقابل سایه و حرارت، در ساخت افزار و وسایل لازم برای بریدن سریع قطعات به‌کار گرفته می‌شوند. مهمترین و در عین حال علمی‌ترین روش دسته‌بندی فولادها، روش دوم است که در آن ترکیب شیمیایی فولاد، ملاک دسته‌بندی قرار می‌گیرد. برای مثال نوع فولاد ممکن است براساس عنصر یا عناصر آمیختگی اصلی موجود در آن مشخص شود. مثلا "عنصر یا عناصر آمیختگی اصلی در فولادهای نیکلی، نیکل، در فولادهای کرمی، کرم، و در فولادهای کرم - وانادیومی، کرم و وانادیم است. در این روش، نوع فولاد با عددی مشخص می‌شود که نشان‌دهنده درصد عناصر مهم موجود در آن است. برای مثال، فولادی که با شماره ۲۵۲۰ (طبق استاندارد AISI) مشخص می‌شود، دارای ۵ درصد نیکل و ۲۰/۵ درصد کربن است. در این نوع دسته‌بندی، اولین رقم سمت چپ (یعنی ۲) معرف عنصر آمیختگی اصلی (یعنی نیکل) است. دومین رقم، کل درصد عناصر آمیختگی و دورقم سمت راست، درصد کربن موجود در فولاد را نمایش می‌دهد.

براساس نوع عملیات اکسیژن‌زدایی و میزان اکسیژن باقیمانده در فلز، فولادها را عموماً "به‌چهار دسته کشته Killed، نیمه‌کشته Semi-Killed، قابی Rimmied و سر بسته Capped تقسیم می‌کنند. دست‌اول فولادهایی هستند که قبل از ریخته‌گری، به‌کلی اکسیژن‌زدایی شده باشند. عملیات اکسیژن‌زدایی از این فولادها، ممکن است

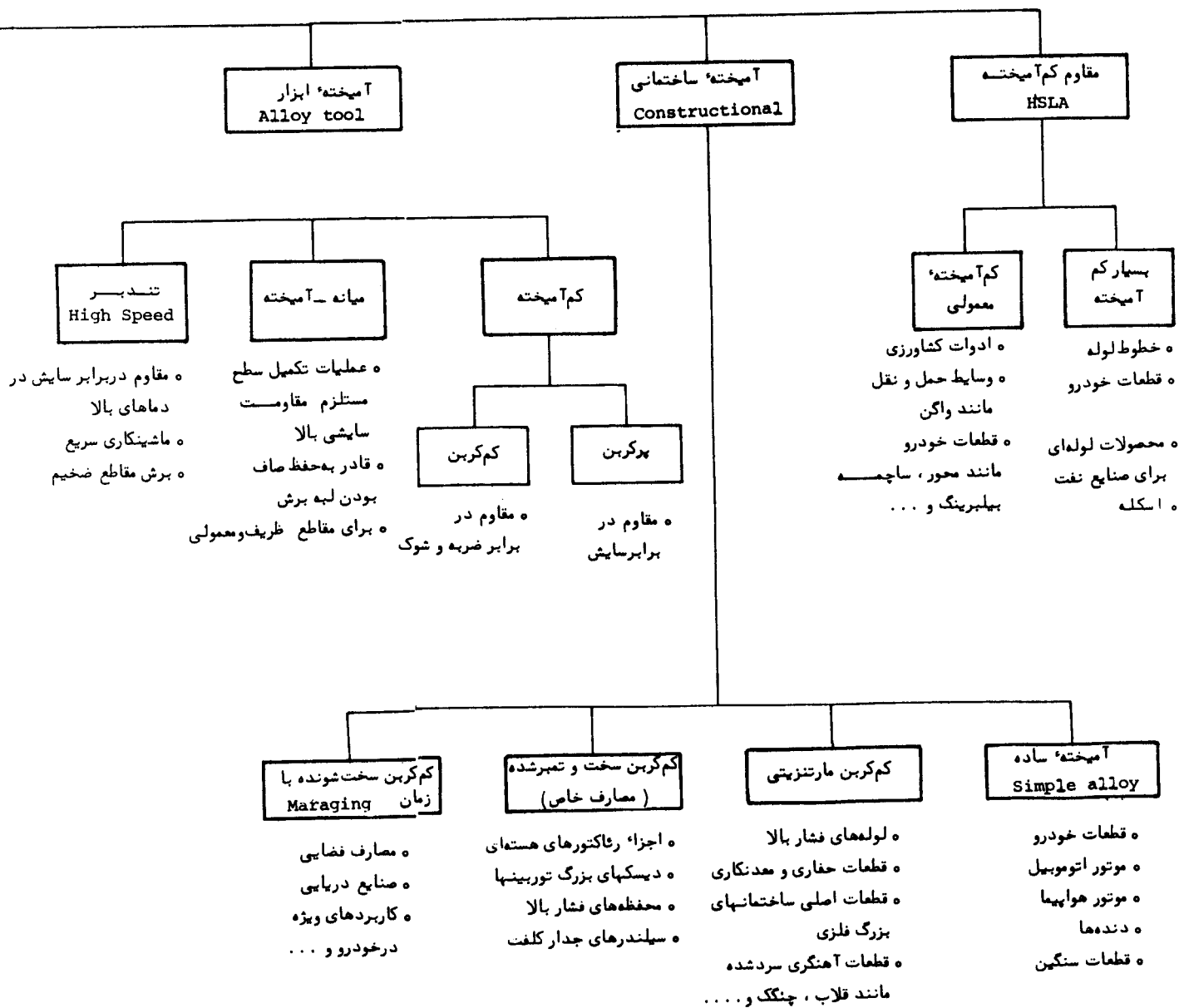
به روشهای گوناگون، مانند افزودن عناصر "اکسیژن‌گیر" به پاتیل، قراردادن فولاد مذاب در خلاء، دمیدن گاز خنثی در فولاد مذاب و بهم‌زدن الکترومغناطیسی فولاد مذاب در خلاء انجام شود. چگونگی انجام این روشها، در نشریات علمی بیان شده‌است. عملیات اکسیژن‌زدایی در فولادهای نیمه‌کشته به‌میزانی محدود انجام و فقط بخشی از اکسیژن محلول، از این فولادها خارج می‌شود. عملیات اکسیژن‌زدایی در مورد فولادهای قابی اساساً "صورت‌نمی‌گیرد. لذا اکسیژن موجود در این فولادها می‌تواند با کربن موجود در آنها ترکیب شده سبب تشکیل گاز منواکسید کربن شود. قسمتی از این گاز که در نواحی مجاور سطح خارجی شمش تولید می‌شود، در هنگام انجماد فولاد، به‌علت کم‌شدن حلالیتش در فولاد، از آن خارج و قسمتی که در نواحی داخلی شمش به‌وجود می‌آید، به‌صورت حفره‌های گاز، در درون شمش محبوس می‌شود. لایه خارجی منجمد شده شمش که گاز خود را از دست داده‌است، معمولاً "کربن، گوگرد و فسفری کمتر از قسمت‌های مرکزی دارد و نواحی داخلی را به‌صورت "قاب" محاصره می‌کند. از این رو به‌این نوع فولادها، فولاد قابی گفته می‌شود. فولادهای قابی خواص سطحی خوبی دارند و در مواردی که کیفیت سطح شمش مهم باشد، از آنها استفاده می‌شود. عملیات ریخته‌گری و انجماد، در مورد فولادهای سربسته نیز مانند فولادهای قابی است. با این تفاوت که در فولادهای سربسته، پس از انجماد قسمتی از شمش و تشکیل یک پوسته منجمد در اطراف شمش، به‌نحوی خروج گاز از فولاد، متوقف می‌شود. مثلا "می‌توان با قراردادن یک کلاهک چدنی روی سرباز قالب و تشکیل یک پوسته فولادی منجمد در آن ناحیه، از تشکیل و خروج حبابهای گاز در هنگام انجماد فولاد، جلوگیری کرد. این نوع فولادها، که خواص لازم برای عملیات شکل‌دهی سرد را دارند می‌توانند در عملیات نورد سرد به‌خوبی به‌کار روند.

در دسته‌بندی براساس روش ریخته‌گری و انجماد، می‌توان فولادها را به دو دسته تقسیم کرد. دسته اول، فولادهایی که از طریق شمش ریزی Ingot Casting ریخته‌می‌شوند و سپس از راه نورد به مقاطع بزرگ مانند شمشه Bloom، مقاطع متوسط مانند قلمه Billet و لوحه Slab، و مقاطع کوچک مانند میله، مفتول، تسمه و ورق، تبدیل می‌شوند. دسته دوم فولادهایی که از طریق ریخته‌گری پیوسته Continuous Casting، مستقیماً "به‌صورت



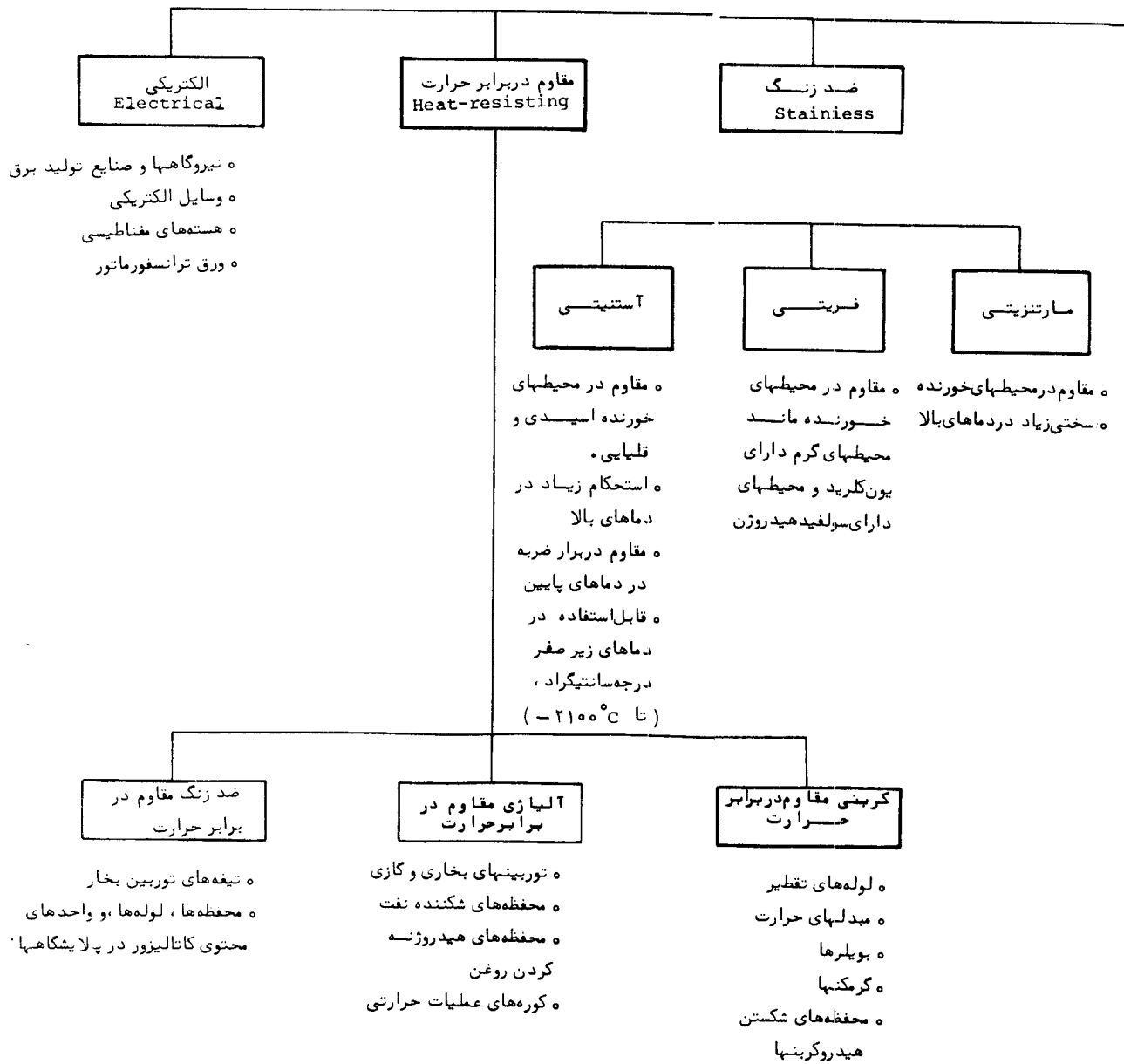
شماره اولیه	روش ساخت	شکل مقطع	نوع مقطع
bloom	نورد گرم ساختمانی		طویل
bloom	نورد گرم ریل		طویل
billet	نورد گرم میله		طویل
billet	نورد گرم مفتول و نورد سیم		طویل
billet	نورد گرم اولیه بی درز		طویل
slab	نورد خمیده گرم و جوش درز		طویل
slab	نورد گرم صفحه		تخت
slab	نورد گرم ورق یا تسمه و نورد سرد ورق یا تسمه		تخت

فولادهای



شکل (۵) - انواع

آمیخته



مقاطع بزرگ و متوسط شمشه، قلمه یا لوحه ریخته می‌شوند. ریخته‌گری پیوسته مقاطع کوچک مانند ریل، مفتول و ورق هنوز به صورت تجارتي عرضه نشده است. انواع مقاطع کوچک حاصل از نورد گرم یا سرد مقاطع بزرگ و متوسط فولادی را جدول (۱) نشان می‌دهد. این مقاطع معمولاً "به دو دسته کلی تخت Flat و طولی Long تقسیم می‌شوند.

علاوه بر روشهای فوق، روشهای خاص تری نیز برای طبقه‌بندی برخی از انواع ویژه فولادها، به کار رفته است. مثلاً "فولادهای مقاوم در برابر خوردگی راکه فولادهای ضد زنگ Stainless نامیده می‌شوند بر اساس نوع عناصر آمیختگی دسته‌بندی کرده و هر دسته را با یک عدد سه رقمی نمایش می‌دهند. همین فولادها را بر اساس ساختمان شبکه کریستالی، به انواع فریتی، آستنیتی، و مارتنزیتی نیز تقسیم‌بندی کرده‌اند. از جمله پرکاربردترین انواع این فولادها، می‌توان فولادهای ۴۱۰ و ۴۱۶ (طبق استاندارد AISI) را نام برد که حدود ۱۱/۵ تا ۱۴ درصد کرم، و خواصی مانند مقاومت در برابر خوردگی، قابلیت کار سرد، قابلیت ماشینکاری و استحکام زیاد دارند.

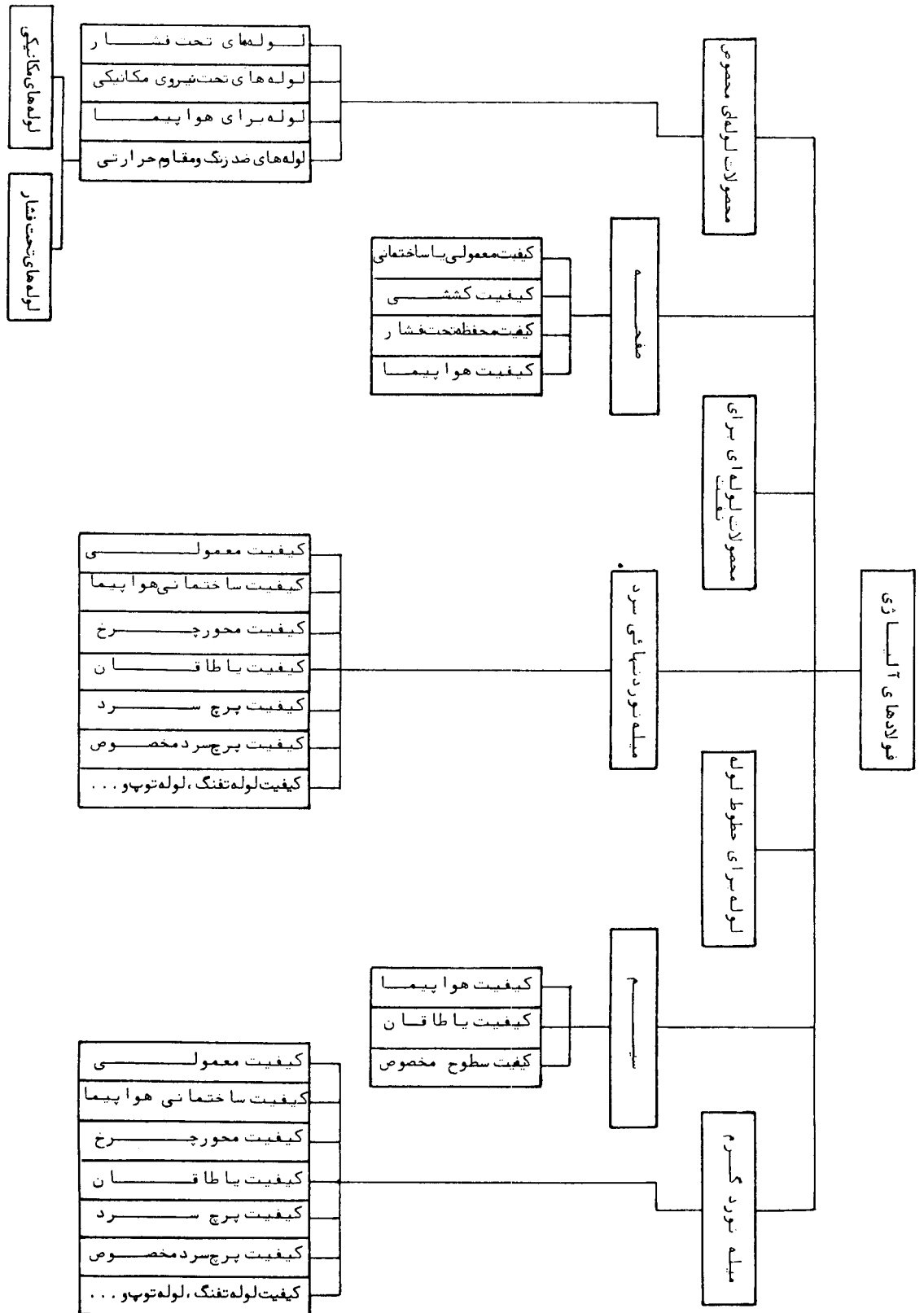
#### برخی اصطلاحات مورد استفاده در تشخیص انواع فولاد آمیخته:

در صنعت فولادسازی، از اصطلاحات فراوانی برای مشخص کردن نوع، کیفیت، و درجه مرغوبیت فولاد استفاده می‌شود. اگرچه همه کسانی که با فولاد سروکار دارند، از این اصطلاحات برداشت یکسانی ندارند، با این حال اختلاف نظر در تعریف آنها، منجر به جایجایی موارد کاربرد است. در اینجا به تعریف مختصری هریک از این اصطلاحات، بر مبنای عمومی‌ترین کاربردهای آنها، می‌پردازیم.<sup>۶</sup>

**الف - درجه Grade، نوع Type و طبقه Class**  
عموماً "درجه" برای مشخص کردن ترکیب شیمیایی، "نوع" برای مشخص کردن عملیات اکسیژن زدایی و "طبقه" برای توصیف برخی مشخصات مکانیکی و فیزیکی قطعه فولادی مانند استحکام و صافی سطح، به کار می‌رود. این اصطلاحات ممکن است به جای هم به کار روند. مثلاً "در فولاد ASTM A302، مشخصات فولاد از نظر ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی، هر دو تحت عنوان درجه داده شده‌اند.

**ب - کیفیت Quality و مشخصات Specifications**  
مشخصات منظور از "کیفیت" در توصیف محصولات فولادی، خصوصیات ویژه‌ای است که این محصولات برای کاربردهای خاص بعدی مانند عملیات شکل‌دادن نهایی، می‌باید دارا باشند. اصطلاح "کیفیت" ضرورتاً دال بر این نیست که قطعه جنس بهتری داشته، یا از مواد اولیه بهتری تهیه شده، یا در تهیه آن دقت بیشتری شده باشد. خصوصیات و خواصی را که فولاد برای کاربردهای بعدی، چه از نظر فنی و چه به لحاظ تجارتي می‌باید دارا باشد به صورت مکتوب تهیه می‌کنند و آن را "مشخصات Specifications" می‌گویند. مطالبی مانند حدود قابل قبول و حدود غیر قابل قبول ابعاد، خواص، ترکیب شیمیایی، عملیات سطحی و رواداشتهای (تلرانسهای) فولاد، جزء مشخصات آن به حساب می‌آیند. مشخصات فولادهایی که کاربردی وسیع دارند و توسط تولیدکنندگان مختلف قابل تولیدند، زیر عنوان "مشخصات استاندارد" Standard Specifications بوسیله مراکز تحقیقاتی و انجمنهای معتبر تولیدکننده یا مصرف‌کننده فولاد، چاپ و منتشر شده است که از جمله می‌توان مشخصات استاندارد انجمن آزمایش مواد آمریکا ASTM را نام برد. برای مشخص کردن کیفیت فولادهایی که مشخصاتشان به دلیل کاربردهای خیلی خاص، استاندارد نشده است، می‌توان از مشخصات استاندارد نزدیک‌ترین فولاد یا ذکر موارد استثنا و اختلاف در خواص بهره‌گرفت. بدین سان، می‌توان اطلاعات بین تولیدکننده و مصرف‌کننده به سهولت انجام، و در عین حال به خواص ویژه فولاد نیز توجه لازم معطوف می‌شود.

**ج - نام‌گذاری کیفیتی Quality Descriptors**  
به منظور افزایش سهولت در میادله‌اطلاعات بین سازندگان و مصرف‌کنندگان فولاد، محصولات فولادی را بر اساس کیفیت و موارد مصرف خامشان نام‌گذاری کرده‌اند. برای مثال فولاد آمیخته به شکل صفحه یا ورق، با کیفیت لازم برای محفظه‌های تحت فشار را می‌توان نام برد. این نوع فولادها، لازم است از مقاومت ضربه‌ای و چقرمگی بالایی برخوردار و از نقایص سطحی و نیز نقص در لبه‌ها و حاشیه‌ها مبرا باشند. این فولادها، خود دارای "درجات Grades" و "انواع Types"، گوناگونی هستند و از لحاظ ترکیب شیمیایی، در رده فولادهای کم‌آمیخته HSLA قرار دارند. اسامی عمده‌ترین انواع فولادهای آمیخته از نظر کیفیت، در شکل ۶ آورده شده است. شرح کامل مشخصات این فولادها، در مرجع ۸، به تفصیل ذکر شده است.



شکل (۶) - دسته‌بندی فولادهای آمیخته از نظر کیفیت

## خاتمه:

در کشور به اندازه ای نیست که تولید آنها را در واحدهای بزرگ، متوسط و حتی کوچک توجیه کرد. با این حال، بنا بر ضرورت‌های اجتماعی و اقتصادی می‌توان تولید برخی از انواع این فولادها را مانند فولادهای الکتریکی و مغناطیسی و فولادهای پراستحکام بسیار کم آمیخته، در بخش‌های خاصی از صنعت موجه دانست و سیاست‌های ویژه‌ای درباره تولید آنها در پیش گرفت.

در تدوین برنامه تولید فولاد آمیخته، باید توجه داشت که عوامل متعددی بر خواص، کیفیت، موارد کاربرد و نتیجتاً اقتصاد تولید این فولادها اثر می‌گذارد که از آن جمله می‌توان درجه Grade (معرف ترکیب شیمیایی)، نوع Type (معرف میزان خلوص و تمیزی)، طبقه Class، (معرف مشخصات فیزیکی و مکانیکی) و نوع عملیات و فرایندهای مورد استفاده برای تولید، تصفیه، تمیز کردن، انجماد و شکل دادن نهایی آنها را نام برد. از آنجا که شرح کامل نوع، نحوه و میزان اثر این عوامل بر آینده تولید فولاد در ایران و جهان، در این مختصر نمی‌گنجد، لذا با گذری کوتاه بر مطالبی مانند تعریف، انواع، موارد مصرف و شیوه‌های طبقه‌بندی فولاد آمیخته، کوشش شد تا نقش و اهمیت این ماده در آینده صنعت کشور، در معرض دید خوانندگان نهاده شود.

بیش از بیست سال است که تولید فولادهای آمیخته با کیفیت بالا، هدف بزرگترین و مجرب‌ترین تولیدکنندگان فولاد دنیا قرار گرفته است. این ماده بسیار مهم، می‌تواند نقشی اساسی در رشد و شکوفایی صنعت کشور ایفا کند. دستیابی به علم و تکنولوژی تولید فولاد آمیخته به‌ویژه انواع خاص و با کیفیت بالای آن، نه تنها برای رفع نیازهای برآورده و برآورده‌نی‌حال و آینده کشور و اعتلای رتبه علمی و فنی آن در سطح جهانی ضروری است، بلکه معرف شخصیت و استقلال علمی و فنی کشور در جامعه ممالک آزاد و از بند رسته جهان سوم نیز می‌تواند به‌شمار آید. از این رو، می‌باید فولاد آمیخته را کالایی استراتژیک دانست و ضمن کسب فن - شناخت مربوط به تولید آن، تدوین برنامه‌های اصولی و درازمدت مربوط به تولید و مصرف این ماده اساسی و مهم را در دستور فعالیت‌های پراولویت قرار داد.

از آنجا که فولادهای آمیخته انواع و موارد مصرف فراوانی دارند، می‌باید ضمن شناسایی خواص و موارد کاربرد آنها، به بررسی دقیق نیازهای فعلی و آتی کشور، و تعیین خط مشی اقتصادی و فنی لازم برای پایه‌گذاری صنایع تولید این فولادها پرداخت. برای مثال، می‌توان فولادهای پر آمیخته و فوردهای بسیار مخصوص را نام برد که میزان مصرف آنها

فهرست منابع

1. H. von unger: METALLURGICAL PLANT AND TECHNOLOGY, 2, 1985, pp 35-41.
2. Hageman: IRON AND STEELMAKER, February 1985, pp 35-41.
3. Creusot-Loire: "Feasibility study for a special steel plant in Iran", April 1974.
- ۴ - وزارت معادن و فلزات: "بررسی توجیهی فنی و اقتصادی و طرح مهندسی بنیادی و پروژه فولادهای آلیاژی"، مرداد ۱۳۶۴.
5. H.E. McGannon (Ed.): "The Making, Shaping and Treating of Steel", 9th Ed., U.S. Steel Corporation, Pitts-burgh, 1971.
6. ASM Handbook Committee: "Metals Handbook, Ninth Edition", Vol.1, (Properties and Selection: Iron and Steel), 1978.
7. N.E. Woldman (Ed.) and R.C. Gibbons: "Engineering Alloys, 5th Edition", 1973.
8. AISI: "Steel Products Manual", New York, 1969.
9. Stuart and Jones: JOURNAL OF METALS, April 1983, pp 17-20.
10. Fruehan: "Ladle Metallurgy Principles and Practices", ISS, 1985.
11. Pearce: JOURNAL OF METALS, March 1986, pp 38-45.
12. Slater and McCune: IRON AND STEELMAKER, Dec. 1985, pp 26-30.
13. Machner et. al: IRON AND STEELMAKER, April 1986, pp 15-18.
14. Sakane et. al: IRON AND STEELMAKER, April 1986, pp 19-23.
15. Spivey and Mueller: IRON AND STEELMAKER, May 1986, pp 19-26.
16. Stavros et. al: JOURNAL OF METALS, October 1985, pp 51-54.
17. McGurty et. al: JOURNAL OF METALS, May 1986, pp 22-25.
18. Klueh and Tanaka: JOURNAL OF METALS, October 1985, pp 16-23.