



ارزیابی جامع از ریزساختار تا چالش‌های صنعتی، طراحی و توسعه فولادهای نسل سوم با تأکید بر رفتار آستنیت باقی‌مانده

لیلا میرزایی^۱، عدنان علیزاده^۲

۱- کارشناس تحقیق و توسعه، شرکت غلتک سازان سپاهان

۲- دانشکده مهندسی مواد و عمران، دانشگاه شیراز

leylamrz98@gmail.com

چکیده

فولادهای نسل سوم با هدف ایجاد تعادل بین استحکام بالا، شکل‌پذیری مطلوب و هزینه تولید مناسب، به‌عنوان راهکاری نوین در صنعت فولاد معرفی شده‌اند. این مقاله مروری با تمرکز بر نقش آستنیت باقی‌مانده، به بررسی خانواده‌های اصلی فولادهای نسل سوم شامل Q&P، CFB و فولادهای منگنز متوسط می‌پردازد. فرآیندهای نوین مانند کوئنچ و تقسیم‌بندی و آنیلینگ با استحاله معکوس، امکان دستیابی به ریزساختارهای پایدار و چندفازی را فراهم می‌سازند. چالش‌هایی نظیر ترک‌خوردگی لبه، بازگشت فنی و مشکلات جوش‌پذیری نیز تحلیل شده و راهکارهای مهندسی برای رفع آن‌ها ارائه گردیده است. این مطالعه نشان می‌دهد که کنترل هم‌زمان ترکیب شیمیایی، فرآیندهای ترمومکانیکی و طراحی ریزساختار، کلید تحقق پتانسیل صنعتی این فولادهاست.

کلمات کلیدی: فولادهای نسل سوم، اثر آستنیت باقی‌مانده پایدار، فولادهای منگنز متوسط، عملیات Q&P

۱- مقدمه

صنعت فولاد در پاسخ به نیاز روزافزون صنایع، به ویژه صنعت خودروسازی، برای دستیابی به فولادهای پیشرفته با استحکام بالا (Advanced High-Strength Steels - AHSS)، شاهد تحولات چشمگیری بوده است [۱]. این مسیر تکاملی را می‌توان به سه نسل اصلی تقسیم کرد. نسل اول فولادهای استحکام بالای پیشرفته مانند فولادهای دوفازی، چندفازی و فولادهای با پلاستیسیته ناشی از استحاله با ریزساختار عمدتاً فریتی-مارتنزیتی یا فریتی-بینیتی، که استحکام بالایی داشتند اما با افزایش استحکام، شکل‌پذیری آن‌ها به شدت کاهش می‌یافت.

برای غلبه بر این محدودیت، نسل دوم این فولادها توسعه یافت. این نسل، مانند فولادهای با پلاستیسیته ناشی از دوقلویی‌شدن با ریزساختار کاملاً آستنیتی، شکل‌پذیری فوق‌العاده‌ای ارائه دادند، اما به دلیل نیاز به مقادیر بالای عناصر آلیاژی گران‌قیمت (به‌ویژه منگنز)، هزینه تولید آن‌ها بسیار بالا بود و با چالش‌های جوش‌پذیری و حساسیت به ترک‌خوردگی مواجه بودند [۲]. این محدودیت‌ها یک شکاف خواص مشخص ایجاد کرد و صنعت را به سمت فولادهایی سوق داد که بتوانند استحکام بالای نسل اول را با شکل‌پذیری بهتر و با هزینه‌ای به مراتب کمتر از نسل دوم ارائه دهند. این نیاز، فلسفه وجودی توسعه فولادهای نسل سوم بود. هدف اصلی این نسل، دستیابی به خواص مکانیکی در محدوده‌ای بین نسل اول و دوم با هزینه‌های تولید منطقی است [۱].

سنگ بنای متالورژیکی اکثر فولادهای نسل سوم، مهندسی دقیق ریزساختار به منظور دستیابی به کسر حجمی قابل توجهی از فاز آستنیت باقی‌مانده در یک زمینه سخت مانند مارتنزیت یا بینایت است [۱]. این آستنیت نیمه پایدار هنگام تغییر شکل پلاستیکی به فاز سخت مارتنزیت استحاله می‌یابد. این پدیده که به آن اثر پلاستیسیته ناشی از استحاله گفته می‌شود، با افزایش موضعی نرخ کارسختی، از تمرکز کرنش در یک ناحیه خاص جلوگیری کرده و تغییر شکل را به سایر نواحی قطعه منتقل می‌کند که در نتیجه پدیده گلویی شدن را به تأخیر انداخته و شکل‌پذیری یکنواخت و کل قطعه را به شدت افزایش می‌دهد [۳]. کارایی اثر پلاستیسیته ناشی از استحاله به شدت به پایداری، مورفولوژی و توزیع آستنیت باقی‌مانده بستگی