فولادهای هادفیلد

مقدمه

فولادهای آستنیتی منگنز (حاوی حدود ۱.۲ درصد کربن و ۱۲ درصد منگنز) در سال 1882توسط رابرت هادفیلد (Robera Hadfoeld) ابداع و معرفی شدند. این خانواده از فولادها به افتخار ایشان به نام هادفیلد معروف شدند. فولادهای آستنیتی منگنزدار با داشتن ترکیب مناسب از چقرمگی، انعطاف پذیری، قابلیت کار سختی و مقاومت در مقابل سایش، در نوع خود منحصر به فرد هستند. و دارای کاربرد وسیع می‌باشند. این خانواده دارای کاربرد وسیع می‌باشند. این خانواده در کنار ویژگیهای عالی، محدودیت‌هایی نیز دارند که عمده ترین آنها عبارتند از:

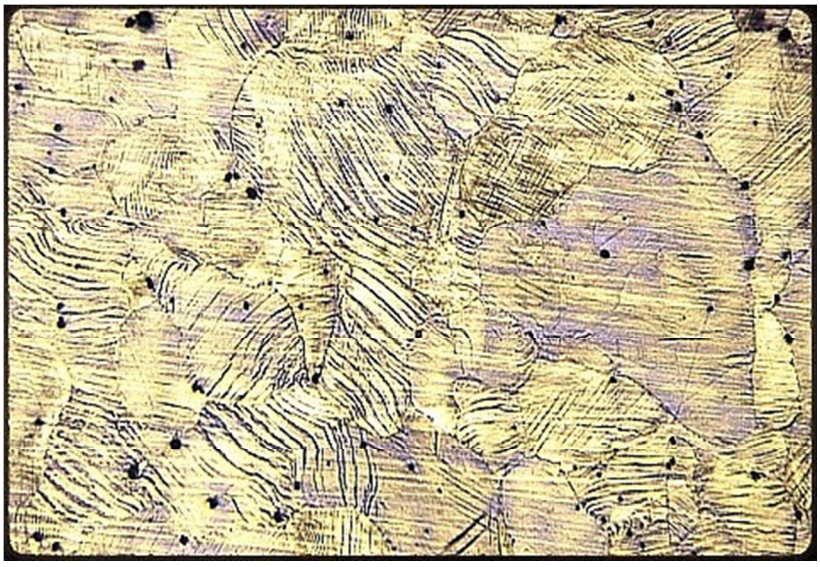
-قابلیت ماشینکاری ضعیف

-استحکام تسلیم پائین (در محدوده(345-415 MPA

در نتیجه برای قطعاتی که لازم است دقت ابعادی بالایی داشته باشند، یا در تنش‌های بالا در مقابل تغییر شکل مقاوم باشد، مناسب نیستند. انجام عملیاتی نظیر چکش کاری، کوبش، پرس کاری، نورد سرد و شوک های انفجار بر روی سطح این فولادها باعث افزایش استحکام تسلیم و بالا رفتن سختی سطح آنها (ضمن حفظ انعطاف پذیری در مغز) می شود.

خواص فیزیکی فولادهای آستنیتی منگنزی

فولادهای آستنیتی منگنزی با هدایت حرارتی کم و ضریب انبساط حرارتی زیاد، از فولادهای ساده کربنی متمایز می شوند؛ این فولادها در درجه حرارت اتاق غیر مغناطیسی هستند .



ترکیب شیمیایی فولادهای آستنیتی منگنزی و استانداردهای مرتبط

از هنگام ابداع فولادهای هدفیلد، تغییرات گوناگون در هنگام ترکیب شیمیای آن صورت گرفته است. برخی از این ترکیب‌ها به عنوان ابداع مورد ثبت قرار نگرفته‌اند، تنها ترکیب‌های محدود مورد استقبال واقع شدند و تکامل یافتند .تغییرات عمده عموماً در میزان کربن و منگنز به همراه افزودن عناصر آلیاژی نظیر نیکل، مولیبدن، وانادیم، تیتانیم و بیسموت، یا بدون افزودن عناصر آلیاژبوده است. معروف‌ترین و مهم‌ترین طبقه بندی شیمیایی فولادهای هادفیلد، به وسیله ASTM صورت گرفته است. این طبقه بندی تحت استاندارد ASTM AL28 ارایه شده است.

معیار استانداردهامعتبر عبارتند از:
JIS G5131کربن
BS- 3100 BW 10افزایش استحکام تسلیم
UNI 3160-83-GX 120 MnCr 1202

تاثیر ترکیب شیمیایی و عناصر مختلف بر خواص فولاد هادفیلد

عنصر کربن

عنصر کربن بر همه ویژگیهای فولاد هادفیلد تاثیر معین و مشخص دارد. این تاثیرات عبارتند از: افزایش درجه حرات Acm با افزایش میزان کربن، افزایش استحکام تسلیم، افزایش استحکام کششی تا محدوده معین از کربن و سپس کاهش آن با افزایش کربن، کاهش ازدیاد طول نسبی.

عنصر منگنز

منگنز تاثیر اندکی بر استحکام تسلیم دارد. منگنز تا ۱۴ درصد استحکام کششی و ازدیاد طول نسبی را افزایش و در بالاتر از آن کاهش می‌دهد. منگنز عامل پایدار کننده آستنیت است اما نمی‌تواند استحاله آستنیت را متوقف کند.

عنصر سیلیسیم

عنصر سیلیسیم به ندرت به عنوان عنصر آلیاژی به ترکیب فولادهای هادفیلد اضافه می شود، حضور آن عمدتاً به دلیل استفاده از این عنصر به عنوان اکسیژن زدا در فرایند تهیه ذوب است. عنصر سیلسیم تا حدود ۲ درصد استحکام تسلیم فولاد هادفیلد را به مقدار کم افزایش می دهد. در بالاتر از ۲.۲ درصد کاهش سریع در استحکام و انعطاف پذیرحاصل میشود. فولادهای هادفیلد حاوی بیش از 2.3درصد سیلیسیم قابلیت کار پذیر ندارند.

عنصر فسفر

میزان فسفر مجاز، مطابق استاندارد Al 28۰.۰۷ ، ASTMدرصد است، ولی از سال 1960که دستیابی به فرو منگنزهای حاوی مقادیر کم فسفر امکان پذیر شد، تولید کنندگان فولاد هادفیلد به کاهش فسفر و نگهدارآن در

حد کمتر از ۰.۰۴ درصد اقدام کردند. اثرات فسفر عبارتند از: کاهش انعطاف پذیری به خصوص در پایین‌تر از درجه حرارت اتاق. در بالاتر از ۰.۰۶ درصد ضمن کاهش انعطاف پذیری، تمایل به پارگی گرم در درجه حرارت‌های بالا را افزایش می دهد. کاهش عنصر فسفر در حداقل ممکن، همواره و بخصوص در موارد که قطعات جوشکاری می‌شوند توصیه می‌گردد. میزان فسفر در الکترودهای جوشکای در فولادهای منگنزی، باید در پائین‌ترین حد باشد.

تاثیر ترکیب شیمیایی و عناصر مختلف بر خواص فولاد هادفیلد

عنصر کرم

عنصر کرم در محدوده ۱.۵ تا ۲.۵ درصد برای افزایش استحکام تسلیم به ترکیب این فولادها اضافه میشود. اثرات آن عبارتند از: افزایش استحکام تسلیم، تا حد ۲ درصد تاثیر چندان بر استحکام کششی ندارد ولی در بالاتر از ۲ درصد موجب کاهش تدریجی و در بالاتر از ۴ درصد موجب کاهش قابل ملاحظه آن می گردد. در بیشتر از ۲.۵ درصد انعطاف پذیری را به شدت کاهش می دهد.

عنصر مولیبدن

عنصر مولیبدن در محدوده ۰.۵ تا ۲ درصد به برخی از فولادهای هادفیلد اضافه می شود. تاثیرات این عنصر عبارتند از: افزایش استحکام تسلیم، افزایش انعطاف پذیری تا میزان ۱.۵ درصد، جلوگیری از ترک خوردگی قطعات در حالت ریختگی، افزایش چقرمگی.

عنصر نیکل

عنصر نیکل تا حد ۴ درصد و یا بیشتر برای تثبیت فاز آستنیت به کار گرفته می شود. این عنصر، مخصوصاً در جلوگیری از ایجاد کاربیدهای که در محدوده حرارت 3000تا ۵۰۰۰ درجه سانتیگراد تشکیل می شوند موثر است. وجود نیکل خاصیت غیر مغناطیس فولاد هادفیلد را تقویت و مخصوصاً در لایه‌های دکربوره شده، تثبیت می‌نماید. سایر اثرات نیکل عبارتند از: استحکام کششی را کاهش می دهد. اما در حد بیش از ۵ درصد تاثیر آن بر استحکام کششی قابل صرف نظر کردن است. این عنصر تاثیر چندانی بر استحکام تسلیم ندارد. همچنین انعطاف پذیری را به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش می دهد. با اضافه کردن آن می توان میزان کربن را کاهش داد و قابلیت جوشکاری را بهتر کرد.

عنصر وانادیم

عنصر وانادیم کاربیدزای بسیار قوی است و بنابراین برای افزایش استحکام تسلیم به این فولادها اضافه می شود. سایر اثرات آن عبارتند از: انعطاف پذیری را کاهش می دهد، تاثیری بر روی مقاومت در مقابل سایش ندارد.

عنصر مس

مس نظیر نیکل در محدوده ۱ تا ۵ درصد برای تثبیت فاز آستنیت به کار گرفته می شود. تاثیر عنصر مس بر خواص مکانیکی این فولادها به صورت دقیق و کامل مورد مطالعه قرار نگرفته است. ولی گزارش‌های پراکنده حکایت از ایجاد حالت شکنندگی در فولاد هادفیلد دارند و این پدیده را با محدودیت حلالیت مس در فاز آستنیت مرتبط می‌دانند.

عنصر تیتانیم

استفاده از عنصر تیتانیم برای خنثی کردن اثر فسفر، در کشورهیای اروپایی متداول است. این عنصر با ایجاد کاربیدهای پایدار میزان کربن محلول در استنیت را کاهش داده و نتیجه آن خواص معادل رده‌های کم کربن فولادهای هادفیلد است. در برخی منابع تیتانیم به عنوان عنصر جوانه زا، برای ریز کردن دانه‌ها و همچنین باز دارنده ایجاد ترک در مرحله عملیات حرارتی معرفی شده است. افزایش تیتانیم در مقدار بیش از ۰.۴ باعث ایجاد کاربیدهای کاملاً پایدار شده و چقرمگی را کاهش می دهد.

عنصر گوگرد

عنصر گوگرد، تاثیر ویژه‌ای بر خواص فولاد هادفیلد ندارد. گوگرد با عنصر منگنز تولید فاز سولفید منگنز می‌کند که در قطعات ریخگتی مضر نیستند.

عنصر بیسموت

عنصر بیسموت عمدتاً برای بهبود قابلیت ماشینکاری به این فولادها افزوده می شود.

عناصر و کاربردهای صنعتی

عمده ترین عناصر آلیاژی که به ترکیب فولادهای هادفیلد اضافه می شوند کرم، مولیبدن، و نیکل هستند. عناصر نیکل و مولیبدن در مواردی که کربن فولاد هادفیلد کاهش داده می شود، برای جلوگیری از کاهش خواص مکانیکی فولاد به آن اضافه می شوند.

برخی از کاربردهای صنعتی برای فولادهای حاوی عناصر آلیاژی

فولاد حاوی یک درصد مولیبدن (Al 28 carde E-1 ASTM) در مواردی که فولاد تحت تاثیر حرارت قرار می‌گیرد، کارایی مطلوبی را نشان می دهد. این خانواده برای تولید قطعات با ضخامت زیاد و مواردنظیر غلطک‌ها و آسیاب‌های چکشی که در بازسازی بارها جوشکاری می‌شوند؛ و تحت تاثیر حرارت قرار می‌گیرند بسیار مناسب است. فولاد حاوی ۲ درصد مولیبدن (carde E-2) دارای استحکام بالاتری است و برای کاربرد در سنگ شکن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ساختار میکروسکوپی فولادهای هادفیلد

برای فولادهای هادفیلد (به استثنای خانواده‌های حاوی وانادیم و مولیبدن (ساختار مطلوب، ساختار کاملاً آستنیتی و تک فازاست. در قطعات ریختگی که تحت عملیات حرارتی قرار نگرفته‌اند؛ ساختار میکروسکوپی قطعه شامل زمینه‌ای آستنیتی، فاز کاربید و مجموعه کوچکی از پرلیت است. فازهای کاربید و پرلیت در اثر خروج کربن از فاز آستنیت و در حین سرد شدن ایجاد می شوند. کاربیدها عموماً در مرز دانه‌ها و در محل‌های بین دندریت، در داخل دانه‌ها تشکیل می شوند. کاربیدهای بین دندریتی عموماً حجیم‌تر هستند؛ با کاربیدهای لایه‌ای احاطه می‌گردند. برای ایجاد چقرمگی مطلوب، ساختار فولاد هادفیلد باید کاملاً آستنیتی باشد. برای دستیابی به چنین ساختاری، قطعات ریختگی تحت عملیات حرارتی قرار می‌گیرند. در اثر عملیات حرارتی بیشترین مقدار کربن به صورت محلول جامد در می‌آید و ساختار کاملاً آستنیتی ایجاد می‌گردد. در هر حال قطعات ریختگی که عملاً تولید می‌شوند دارای مقادیرفاز کاربید در مرز دانه‌ها (به خصوص در قطعات با ضخامت زیاد) هستند و این امر طبیعی است. در صورتیکه عملیات حرارتی فولادهای هادفیلد به درستی انجام نشود ساختار نهایتا مطلوب نخواهد بود. افزودن عنصر مولیبدن در یک حد معین باعث ایجاد فاز کاربید مولیبدن در ساختار میکروسکوپی فولاد هادفیلد می شود و خانواده جدید تحت عنوان فولادهای هادفیلد با سختی توزیع (Dispersion- Hardening)را ایجاد می‌نماید.

عملیات حرارتی فولادهای هادفیلد

انجام عملیات حرارتی بر روی فولادهای هادفیلد باعث می شود که آنها را با اطمینان کامل در محدوده بسیار وسیعی از کاربردهای خاص استفاده کرد. عملیات حرارتی متداول برای این فولادها عبارت است از:

-آنیل به منظور حل کردن فازهانامطلوب

-سرد کردن سریع حمام

برای حل کردن کامل فاز کاربید، قطعات ریختگی باید به میزان ۳۰ تا ۵۰ درجه سانتیگراد بالادرجه حرارت داده شوند. نگهداری قطعه در این درجه حرارت به مدت ۱ الی ۲ ساعت برای حل کردن کامل فاز کاربید کافی است. در فولادهای هادفیلد با کربن ۱.۴ الی ۱.۵ درصد، درجه حرارت مذکور بسیار بالا است و اعمال این محدوده حرارتی باعث مشکلات زیر خواهد شد:

-در مناطق جدایش کربن پدیده ذوب اولیه صورت می‌گیرد.

-اکسیداسیون و دکربورده شدن بیش از حد معمول خواهد بود.
-امکان عمل سریع سرد کردن وجود نخواهد داشت.

کار سختی در فولادهای هادفیلد

خواص مکانیکی فولادهای هادفیلد با انجام کار مکانیکی تغییر می‌کند. به عنوان مثال در فولاد هادفیلد با درصد کربن ۱ تا ۱.۴ و منگنز ۱۰ تا ۱۴ درصد، ساختاز ۲۲۰ و یکرز، در اثر کار سختبه ۹۰۰ ویکرز، افزایش می‌یابد.
حداکثر سختی در فولادهای هادفیلد به عوامل مختلف بستگی دارد:
-ترکیب شیمیایی فولاد
-شرایط کار
-روش کار سخت

کار سختی اعمال شده قبل از به کار گیری قطعه مقاومت در مقابل خوردگی فولادهای هادفیلد
فولادهای هادفیلد به عنوان یک ماده مقاوم در مقابل خوردگی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. این فولادها در شرایط خورنده به سرعت دچار زنگ زدگی می شوند. مقاومت در مقابل خوردگی این فولادها در مقایسه با فولادهای ساده کربنی، در شرایطی که خوردگی و سایش با هم عمل کنند، کمی بیشتر است.

خواص مغناطیسی فولادهای هادفیلد

فولاد هادفیلد با ساختار کاملاً آستنیتی، غیر مغناطیسی است. بنابراین در مواردی که به ماده‌ای با استحکام بالا، چقرمگی خوب و غیر مغناطیس بودن نیاز است به کار گرفته میشود.

جوشکاری فولادهای هادفیلد

در بسیاری از کاربردهای فولادهای هادفیلد، نیاز به جوشکاری دارند، این عملیات برای اتصال در قطعه فولاد هادفیلد یا فولاد ساده کربنی به هادفیلد یا برای تعمیر قطعات ریختگی انجام می‌شود. به دلیل حساس بودن فولادهای هادفیلد به حرارت باید جوشکاری آن با دقت کافی صورت پذیرد. بهترین روش جوشکاری فولاد هادفیلد جوشکارقوس الکتریک است. برای جوشکاری این خانواده از فولادها می‌توان از الکترودهامناسب مطابق استاندارد استفاده کرد. نکات مهم در جوشکاری فولادهای هادفیلد عبارتند از:
-حرارت دادن قطعه قبل از جوشکاری یا در حین آن، باید در حداقل ممکن باشد.
-در حین بازسازی قطعات ریختگی باید مناطق فرسوده را کاملاً تمیز و خالی کرد.
-بستر منطقه جوش در حالتی که هنوز داغ است، ساچمه کوبی شود.

ماشینکاری فولادهای هادفیلد

فولادهای هادفیلد، با وجود چقرمگی بسیار بالا، به هنگام ماشینکاری، در محل حرکت قلم‌های ماشینکاری در محل حرکت قلمهای ماشینکاری به قدری سختکارمیشوند؛ که از نقطه نظر تجاری آنها را غیر قابل ماشینکاری قلمداد کنند. فولادهای هادفیلد را می‌توان با به کارگیری تمهیدات زیر ماشینکاری کرد:

-ماشین باید در محل مناسب و به صورت صلب مستقر شده باشد.

-ابزارها باید تیز باشند؛ ابزارهای کند، تولید کار سختی بیش از حد می‌کنند و ماشینکاری را مشکل میسازند.

-سرعت ماشینکاری باید کم و در حدود ۹ الی ۱۲ متر بر دقیقه باشد.

-برای ماشینکاری از فولادهای تند بر حاوی کبالت یا سمنتید کارباید باید استفاده کرد. مورد دوم ترجیح داده میشود.

-استفاده از روغن‌های حاوی گوگرد عمل ماشینکاری را سهل‌تر میکند.

برای افزایش قابلیت ماشینکاری خانواده جدیداز فولادهای هادفیلد با ۲۰ درصد منگنز و ۰.۶ درصد کربن ابداع شده‌اند. این فولادها را می‌توان سوراخ کاری، قلاویز، گرد تراشی و ماشینکاری نمود.

کاربرد فولادهای هادفیلد

فولادهای هادفیلد در خرد کردن و آسیاب کردن مواد به طور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرند. برخی از کاربردهای آن عبارتند از: غلطک‌های سنگ شکن‌های غلطک، فک سنگ شکن‌ها، فک انواع چکش‌ها، صفحات مقاوم در مقابل سایش، زره آسیاب‌ها، ناخن لوردها و بولدوزرها، قطعات مقاوم در مقابل سایش پمپ‌ها، چرخ واگن‌های حمل مواد معدن از قطعاتی هستند که از این فولادها تولید می‌شوند؛ کاربردهاویژه این خانواده در صنعت سیمان عبارتند از: زره‌ها در انواع مختلف برای آسیاب‌هامختلف، دیافراگم‌ها در انواع مختلف برای آسیاب‌های مختلف، چکش انواع سنگ شکن‌ها، فک انواع سنگ شکن‌ها، چکش آسیاب‌های مختلف مواد خام، چکش آسیاب‌های کلینگر، زنجیر کشش کلینگر، و انواع دیگر قطعات که در معرض سایش و ضربه شدید قرار دارند.