

نوع ، شکل و تاثیر ترکیبات گوگرد در فولاد

نوشته ، خطیب الاسلام صدرنژاد

Abstract

The most common sulfur compounds in steel, are sulfides. Sulfides precipitate during solidification along grain boundaries and thus seriously damage the properties of the steel. They are, hence, generally known as undesirable elements. Manganese sulfide, for example, is an important compound which because of substantial plasticity, appears in different shapes in carbon-manganese steels and introduces undesirable effects on mechanical and shaping properties of steel. In this article, a brief review is first made of the type, shape and effect of sulfides in steel. The results of a number of experiments conducted on the effects of chemical analysis, heat treatment, hot rolling and cold rolling on the shape of sulfides as well as the mechanical behavior, formability and Charpy shelf energy of several carbon manganese steel samples are then discussed.

خلاصه

معمول ترین ترکیبات گوگرد در فولاد ، سولفیدی هستند . سولفیدها در هنگام انجماد ، غالباً "در مرز دانه ها رسوب کرده و خواص فولاد را بشدت تخریب میکنند . لذا عموماً " به عنوان عواملی نامطلوب شناخته شده اند . یکی از این عوامل ، سولفید منگنز است که بدلیل پلاستیسیته زیاد ، به اشکال گوناگون در فولادهای کربن منگیزی ظاهر شده و اثرات نامطلوبی بر خواص مکانیکی و قابلیت تغییر شکل فولاد وارد میکند . در این مقاله ضمن مرور فشرده نوع ، شکل و تاثیر ترکیبات سولفیدی در فولاد ، نتایج آزمایشهای انجام شده در مورد تاثیر آنالیز شیمیائی ، عملیات حرارتی ، نورد گرم و نورد سرد بر شکل سولفیدها و از آنجا بر خواص مکانیکی ، قابلیت تغییر شکل و انرژی شکست چند نمونه فولاد کربن منگیزی مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است .

آخال های سولفیدی

شمال بکار گرفته میشوند ، محتوای گوگرد باید حتی کمتر از ۰/۰۰۵ درصد باشد .^۵ بطوریکه امروز میزان گوگرد در فولادهای مرغوب و نازک برابر ۰/۰۰۰۵ درصد (5ppm) یا کمتر توصیه میگردد . اثرات نامطلوب گوگرد بر خواص فولاد عبارتند از : افزایش سختی Hardness صعود نقطه تسلیم Yield Point ، کاهش قابلیت تغییر طول Elongation ، کاهش انرژی شکست Charpy Shelf Energy ، کاهش عمق اکستروژن در عملیات کشش عمیق و پوسته پوسته شدن ورق در هنگام نورد .

حدود بیست سال پیش ، فولادی با ۰/۱۵ تا ۰/۲۰ درصد گوگرد میتوانست خواص مورد نیاز برای بسیاری از مصارف صنعتی را تضمین کند . اما امروز میزان مجاز گوگرد در تناژ عظیمی از فولادها به ۰/۰۵ تا ۰/۱۵ درصد محدود میشود .^۱ مطالعات انجام شده نشان میدهد برای بسیاری از لوله ها منجمله لوله های اصلی انتقال گاز که در مناطق سرد سیر

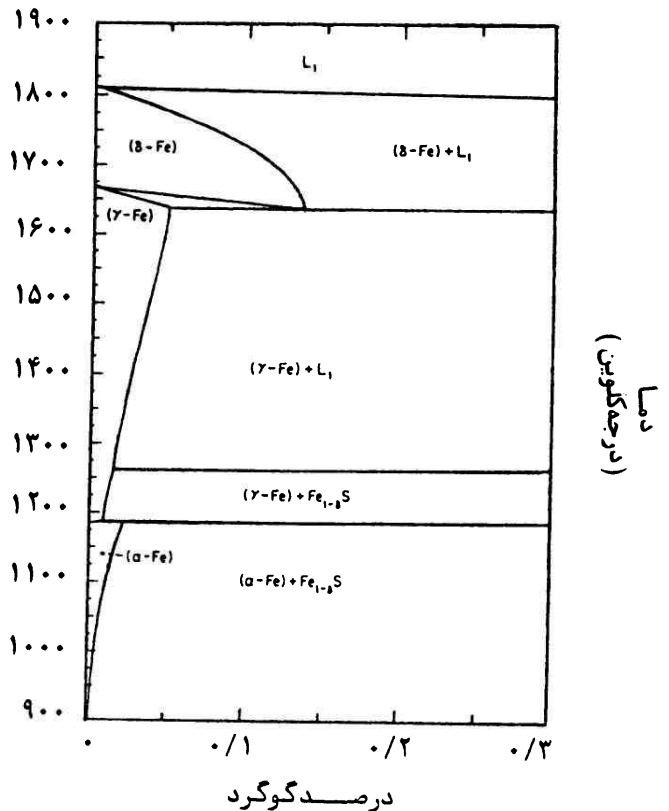
Spiral Cracks در هنگام سنبه کاری Punching لوله های فولادی میشود. طی عملیات جوشکاری، تشکیل قشر نازک سولفید در اطراف دانه های آستنیت همچنین میتواند سبب ایجاد ترک جوش در فولاد گردد.

از مهمترین معایب وجود گوگرد در فولاد، ایجاد غیر یکنواختی خواص مکانیکی در جهات مختلف است. برای مثال در فولادهای اکسیر زدائی شده منگنزدار، گوگرد تشکیل آخالهای سولفید منگنز MnS میدهد. سولفید منگنز دارای نقطه ذوب پائین بوده و در جهت نورد طولی میشود. بطوریکه در هنگام نورد گرم تشکیل آخالهای نوع سوزنی Stringer Type میدهد. این نوع آخالها خواص مکانیکی در جهت عمود بر جهت نورد را بدست خراب میکنند. برای مثال قابلیت شکل پذیری و انرژی شکست را به میزان قابل توجهی کاهش میدهند. خوشبختانه سایر انواع آخالها عموماً این اشکال را ایجاد نکرده و از این جهت تا حدودی قابل تحمل میباشند (شکل ۱).

سولفید منگنز اغلب در مرز دانه ها تشکیل میشود. زیرا در خلال انجماد عناصر منگنز و گوگرد به مذابی که در مرز انجماد قرار دارد، پس داده میشوند (شکل ۱). لذا با بالا رفتن غلظت این دو عنصر در مرز بین دندریتها، سرانجام شرایط تعادل برای تولید سولفید منگنز در مرز دانه ها بوجود آمده و این نوع آخال تولید خواهد شد. شکل آخالهای سولفید منگنز بعد از ریخته گری و همچنین بعد از نورد در سطر اول شکل ۲ نمایش داده شده است. همانگونه که در شکل ۲ دیده میشود، قابلیت شکل پذیری آخالها تابع ترکیب شیمیائی آنهاست. لذا با تغییر نوع آخال، خواص مکانیکی فولاد تغییر خواهد کرد. بنابراین برای کنترل خواص مکانیکی فولاد، لازم است به کنترل شکل سولفید پرداخت.

کنترل شکل سولفیدها

معمولاً سه نوع آخال سولفید منگنز در فولادهای ریخته شده بوجود میاید. آخالهای نوع ۱ به صورت کره های ریز در تمام نمونه بطور یکنواخت توزیع میشوند. نوع ۲ به صورت زنجیر Chains یا سوزن Stringer



شکل ۱- حلالیت گوگرد در آهن

وجود گوگرد سبب سست شدن فولاد در هنگام تشکیل کریستالهای جامد و ترک خوردن شمش در هنگام نورد میشود. ایجاد نقائص سطحی و ترکهای عمقی در لوحه های Slab نورد، وقتی محتوای گوگرد به بیش از ۰/۰۲ / ۰ درصد افزایش یابد، سبب گسترش ضرورت انجام عملیات سطحی مانند صاف کاری Conditioning و نتیجتاً افزایش میزان ضایعات میگردد. مشابه این مشکل بخصوص در فرایند ریخته گری پیوسته مشاهده میشود. پوسته فولادی منجمد شده در این عملیات، بدلیل وجود نقائص سطحی مربوط به حضور بیش از ۰/۰۲ درصد گوگرد، تاب تحمل تنشهای انقباضی و کششی مربوط به فرآیند ریخته گری پیوسته را نیاورده و به ایجاد مشکلات گوناگون از جمله ناصافی سطح منجر میگردد. تجمع سولفیدها و تشکیل آخال Inclusion، سبب ایجاد ترکهای حلزونی

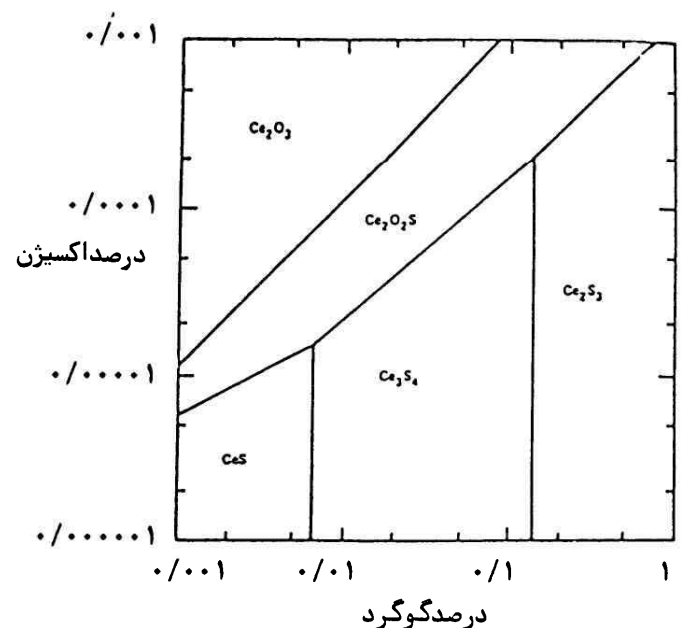
ردیف	نوع آخال	پس از ریخته گری	بعد از نورد
۱	MnS	CaS, MnS	
۲	$12CaO \cdot 7Al_2O_3$		
۳	$CaO \cdot 2Al_2O_3$		
۴	$CaO \cdot 2Al_2O_3$		
۵	$12CaO \cdot 7Al_2O_3$		

شکل ۲- نمایش تصویری آخالها در فولادهای اکسیر زدائی شده با آلومینیوم

در امتداد مرز دانه ها قرار میگیرند. نوع ۳ به صورت کریستالهای تراشیده زاویه دار در زمینه پخش میشوند. سولفیدها علاوه بر میتوانند به صورت های دندریتی، سپری Anchor-Type، میله ای Rod-like و صفحه ای Sheet-Like نیز باشند. آنالیز شیمیایی و میزان اکسیژن باقیمانده در فولاد، بر شکل میکروسکوپی آخالها تاثیر دارد. مثلا "با کاهش میزان اکسیژن موجود در آلیاژ Fe-MN-S، نوع آخالها از ۱ به ۲ و با افزایش کربن، بروفسر، به ۳ تغییر کرده است. افزایش سرعت سرد شدن نیز سبب کوچک شدن اندازه آخالها در فولاد میگردد.

آخالهای سولفیدی، اعم از کرومی یا سوزنی، اثرات مخربی بر خواص مکانیکی فولاد دارند. اما اثرات تخریبی آخالهای سوزنی شدید تر است. بنابراین در هنگام عملیات نورد از ایجاد این نوع آخالها باید جلوگیری شود. برای اینکار لازم است شکل آخالها قبل از نورد حتی الامکان از نوع ۱ باشد. زیرا قابلیت شکل پذیری این آخالها، احتمالا "بدلیل زیاد بودن نسبی محتوای اکسیژن آنها، از سایر انواع کمتر بوده و نتیجتا" بر شکل پذیری فولاد اثرات کمتری دارند، آخالهایی که شکل پذیریشان زیاد است، مانند نوع ۳، در هنگام نورد کشیده شده و خواص فولاد را در جهات عمود بر نورد تضعیف میکنند. اثرات منفی این آخالها در نورد گرم فولاد شدیدتر است. زیرا بیشترین تغییر شکل آنها در حدود دماهای تغییر حالت آستنیت به فریت حاصل میشود.

برای کنترل شکل آخالها، میتوان عناصری همچون کلسیوم، منیزیم، تیتانیوم، زیرکونیوم و یا عناصر کمیاب زمین به فولاد افزود. افزایش این عناصر به فولاد، سبب تغییر ترکیب شیمیایی آخالها و حذف فرآیند طویل شدن سولفید منگنز خواهد شد. هر قدر میزان گوگرد موجود در فولاد در هنگام افزودن عناصر فوق کمتر باشد، اندازه آخالها کوچکتر و تعداد آنها اندک تر خواهد بود. این میزان معمولا "۰/۰۰۷ درصد یا کمتر انتخاب میشود.



شکل ۳- دیاگرام پایداری ترکیبات گوگرد، اکسیژن و سدیم در فولاد.

نحوه عمل عناصر افزوده شده به فولاد، تشکیل ترکیبات سخت با قابلیت تغییر فرم، بسیار کم میباشد. مثلا "کلسیوم، وقتی به فولاد دکشته شده با آلومینیوم اضافه شود، سبب تبدیل آخالهای آلومینا به آلومینات کلسیوم میگردد. این ترکیب قدرت جذب گوگرد دارد. در نتیجه سولفید کلسیوم جذب سطح آن شده و تشکیل آخال دو تایی Duplex type میدهد (شکل ۲ - سطر دوم). این نوع آخال کرومی بوده و بدلیل نقطه ذوب بالا و سختی زیاد، هنگام نورد طویل نمیشود. چون حلالیت کلسیوم در فولاد محتوی اکسیژن بسیار کم است. لذا فرآیند فوق در مورد فولادهایی که اکسیژن زدائی نشده باشند، انجام نمیشود. همچنین بدلیل پلاستیسیته زیاد سیلیکاتها در دماهای بالا، لازم است از سیلیسیوم برای اکسیژن زدائی استفاده نشود. واضح است که استفاده از آلومینیوم برای این منظور مناسب تر میباشد.^{۱۲}

عناصر کمیاب حاکی مانند سربوم میل ترکیبی شدیدی با گوگرد و اکسیژن دارند. لذا این عناصر با اکسیژن و گوگرد موجود در فولاد ترکیب شده و تشکیل اکسید، سولفید یا اکسی سولفید میدهد. نوع ترکیب بوجود آمده بستگی به اکتیویته دو عنصر اکسیژن و گوگرد در فولاد دارد (شکل ۳). این ترکیبات در موقع سرد شدن فولاد تدریجا" بصورت آخالهای ریز پراکنده در داخل قطعه جدا میشوند. این آخالها شکل کرومی داشته و در هنگام نورد تغییر فرم نمی دهند. بدین ترتیب افزایش عناصر کمیاب حاکی نه تنها به رفع مشکل طویل شدن سولفید منگیزی انجامد، بلکه لزوم اکسیژن زدائی قبلی با آلومینیوم را نیز منتهی مینماید. بخصوص که آخالهای از نوع اکسید آلومینیوم در صورت باقیماندن در فولاد سبب ایجاد مشکلات عدیده ای از قبیل تجمع در گلوگاه خروج مذاب هنگام ریخته گری پیوسته و نتیجتا "انسداد مجرای مذاب میگردد. به علاوه خرد شدن دندریتهای این نوع آخال در هنگام نورد باعث تشکیل آخالهای توسعه یافته (سطر ۳ شکل ۲) و نتیجتا "ایجاد عیوب سطحی میشود. البته رفع این عیوب از طریق تبدیل آلومینا به آلومینات کلسیوم از طریق افزایش کلسیوم یا اکسید کلسیوم به فولاد امکان پذیر است (سطرهای ۴ و ۵ جدول ۲).

آزمایشها و نتایج

فولادهای کربن منگیزی با درصد های متفاوت گوگرد مطابق جدولهای ۲ و ۱، از طریق ذوب الکتریکی القائی میل گرد و نمونه های فولاد کم کربن با آنالیز شیمیایی داده شده در جدول ۳ از طریق ذوب مداوم آهن اسفنجی در یک کوره القائی بدون هسته تهیه و در قالبهای فلزی از پیش گرم شده ریخته شدند. اثر عواملی همچون ترکیب شیمیایی، عملیات تابکاری و Annealing و عملیات ترمومکانیکی بر خواص مکانیکی نمونه ها و شکل آخالهای تولید شده در آنها مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل به قرار زیر میباشد:

الف) اثر میزان گوگرد بر خواص مکانیکی

اثر افزایش میزان گوگرد از ۰/۰۱۶ درصد تا ۰/۰۷ درصد بر انرژی شکست و

جدول ۱ - اثر محتوای گوگرد بر مشخصات مکانیکی فولادهای کربن منگنزی ریخته شده

شماره نمونه	آنالیز شیمیائی، درصد				انرژی شکت شاری در دمای اطاق Kg.m	نقطه تسلیم Kg/mm ²	درصد تغییر طول %E ₁	درصد کاهش در مساحت %R.A.	استحکام کششی ماکسیموم Kg/mm ²
	کربن	سیلیسیوم	منگنز	گوگرد					
۱	۰/۳۵	۰/۱۷	۰/۶۷	۰/۰۱۶	۳۰	۲۰/۲	۲۸/۰	۴۷/۰	۲۴/۹
۲	۰/۳۵	۰/۱۹	۰/۶۶	۰/۰۲۸	۳۰	۲۱/۰	۲۴/۷	۳۸/۰	۲۹/۹
۳	۰/۳۵	۰/۲۱	۰/۶۶	۰/۰۵۰	۲۳/۷	۲۳/۰	۲۱/۰	۳۲/۰	۲۸/۲
۴	۰/۳۵	۰/۲۲	۰/۶۷	۰/۰۷۰	۱۸/۲	۲۵/۲	۲۰/۴	۲۰/۸	۳۱/۲

ترمو مکانیکی بطور متناوب تابکاری Anneal و نورد سرد شده اند. درصد تغییر شکل تالحتظ ایجاد ترک در نمونه ها اندازه گیری و در جدول ثبت گردیده است. این اطلاعات نشان میدهد که با افزایش میزان گوگرد در نمونه ها، امکان انجام نورد بشدت کاهش می یابد. بطوریکه با ۰/۶۷ درصد گوگرد، امکان نورد سرد فولاد بدون ترک از بین میرود. طرز توزیع آخالهای سولفید منگنز پس از نورد سرد نمونه شماره ۱ جدول ۲ در شکل ۵ قسمت ب نمایش داده شده است.

ب) اثر تابکاری Annealing بر شکل آخالهای سولفید منگنز

آخالهای سولفید منگنز در اثر انجام عملیات نورد کشیده شده و از ضخامت آنها کاسته میشود. در صورتی که نمونه پس از نورد، تابانده

خواص کششی فولادهای کربن منگنزی با ۰/۳۵ درصد کربن، حدود ۰/۶۷ درصد منگنز و حدود ۰/۲۰ درصد سیلیسیوم در جدول ۱ داده شده است. منحنی های تنش - کرنش این فولادها در شکل ۴ بایکدیگر مقایسه شده است. همانگونه که از اطلاعات داده شده برمی آید، افزایش میزان گوگرد سبب افت شدید مقاومت در برابر ضربه، افزایش تنش تسلیم، کاهش قابلیت تغییر طول و افزایش حداکثر استحکام کششی فولاد میگردد. مسبب ایجاد این تغییرات، رسوب آخالهای سولفید منگنز در مرز دانه ها و سایر محل های ضعیف در درون قطعه میباشد (قسمت الف شکل ۵)

اثر افزایش میزان گوگرد بر قابلیت نورد چهار نمونه فولاد کربن منگنزی در جدول ۲ آورده شده است، هر چهار نمونه تحت عملیات

جدول ۳ - قابلیت خورد فولادهای حاصل از ذوب آهن اسفنجی واحد میدرکس اهواز

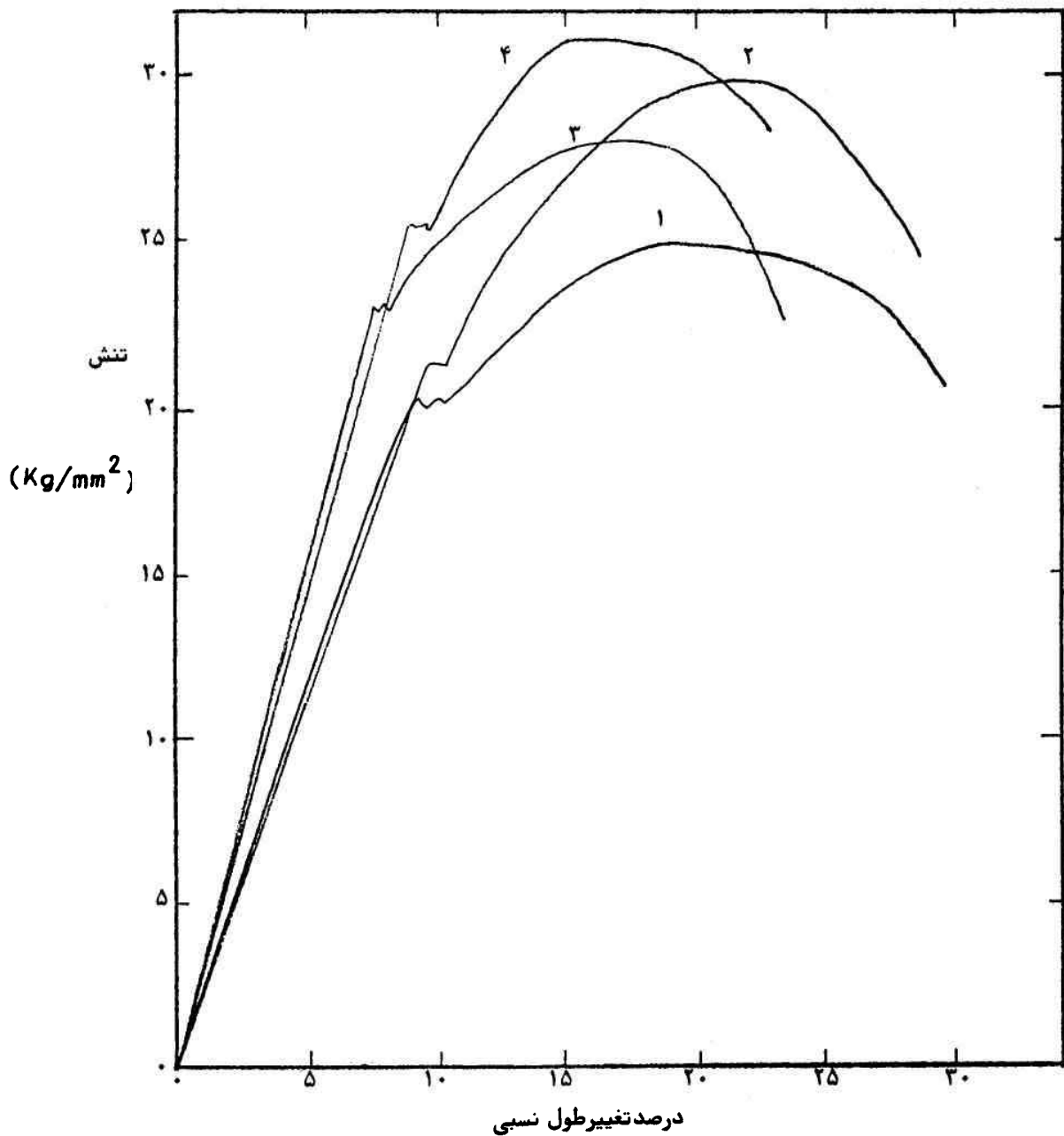
شماره نمونه	آنالیز شیمیایی، درصد									
	کربن	سیلیسیوم	منگنز	کروم	نیکل	مولیبدن	مس	فسفر	گوگرد	ساختر میکروسکوپی
۱	۰/۰۲۵	۰/۰۱۲	۰/۰۰۲	۰/۱۱۸	۰/۱۱۳	۰/۰۰۵	۰/۰۱۴	۰/۰۱۶	۰/۰۱۲	فریتی
۲	۰/۱۵۵	۰/۰۵۹	۰/۰۲۵	۰/۱۵۱	۰/۱۳۶	—	۰/۰۷۷	۰/۰۲۲	۰/۰۱۸	فریت کمی پرلایت
۳	۰/۰۲۱	۰/۰۱۸	۰/۰۰۱	۰/۰۵۷	۰/۱۹۱	۰/۰۰۱	۰/۰۶۴	۰/۰۱۸	۰/۰۱۵	فریتی
۴	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	—	۰/۰۱۱	۰/۱۸۸	—	۰/۰۷۲	۰/۰۱۹	۰/۰۱۸	فریتی
۵	۰/۰۲۲	۰/۰۳۸	۰/۰۱۶	۰/۲۳۲	۰/۱۷۵	—	۰/۰۱۳	۰/۰۲۰	۰/۰۱۰	فریتی

* نمونه‌ها در دمای ۸۵۰ - ۷۰۰ سانتیگراد تا ضخامت ۰/۳ میلی‌متر بدون ایجاد عیوب سطحی نورد شدند. نورد بیشتر نمونه‌ها به علت محدودیت وسیله موجود در آزمایشگاه انجام نشد.

جدول ۴ - اثر عناصر گوگرد، کربن و کمیاب‌های بر خواص مکانیکی فولاد کربن منگنز در سه جهت طولی، عرضی و امتداد ضخامت، پس از نورد گرم.^۸

* درصد								
تغییر طول نسبی شکست در نمونه کششی			انرژی شکست در نمونه شاری (ژول)					
گوگرد	کربن	کمیاب‌های خاکی	طول	عرضی	ضخامت	طول	عرضی	ضخامت
۰/۰۱۳	۰/۱۰	۰/۰۲۱	۱/۴۴	۱/۴۱	۱/۲۲ - ۱/۱۴	۲۹۸	۲۳۶ - ۲۴۰	۱۷۸ - ۱۲۸
۰/۰۱۳	۰/۲۰	۰/۰۲۹	۱/۲۰	۱/۱۷	۰/۹۲ - ۰/۸۶	۱۹۲ - ۲۱۰	۱۵۶ - ۱۳۶	۱۱۵ - ۸۰
۰/۰۱۳	۰/۱۱	—	۱/۴۲	۱/۳۰	۰/۷۲ - ۰/۴۰	۲۹۲	۱۵۲ - ۱۲۴	۵۴ - ۴۰
۰/۰۱۲	۰/۲۱	—	۱/۱۲	۱/۰۰	۰/۴۵ - ۰/۲۵	۱۶۰ - ۱۸۰	۹۲ - ۷۴	۳۷ - ۲۲
۰/۰۰۴	۰/۱۰	—	۱/۵۲	۱/۴۴	۱/۳۳ - ۱/۲۹	۲۹۸	۲۹۶	۲۵۶ - ۱۹۶
۰/۰۰۴	۰/۲۱	—	۱/۲۹	۱/۲۴	۰/۰۷ - ۱/۰۹	۲۱۲ - ۲۳۶	۱۷۲ - ۱۴۴	۱۳۶ - ۱۲۰

* در مدت تقریبی سایر عناصر بر دین قرار است: منگنز ۱، فسفر ۰/۰۰۵، سیلیسیوم ۰/۲۵، مس ۰/۰۰۳، نیکل ۰/۰۰۸، کروم ۰/۰۰۹، مولیبدن ۰/۰۰۴، آلومینیوم ۰/۳۰، نیتروژن ۰/۰۰۲ و اکسیژن ۰/۰۰۲.



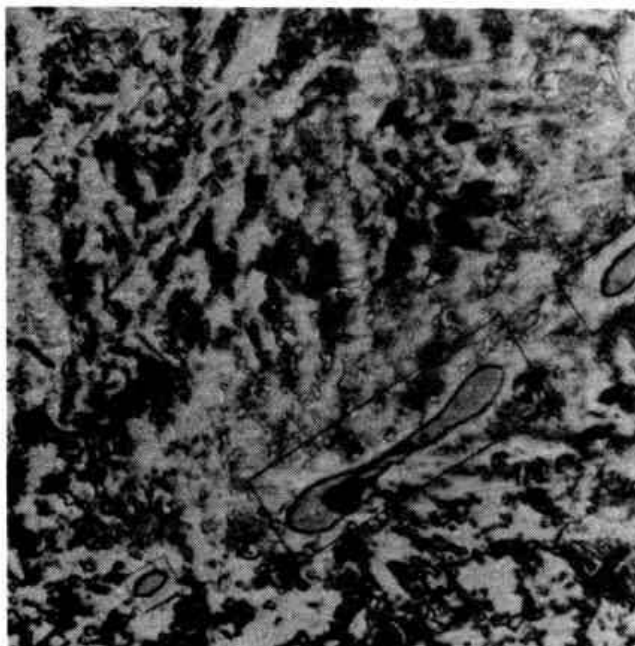
شکل ۴- منحنی های تنش - کرنش برای فولاد کربن منگیزی جدول ۱.

بر نیروهای اصطکاکی بین سولفیدوزمینه فولادی دارد. حداکثر قابلیت تغییر شکل سولفیدها، در حدود دماهای تغییر حالت آستینیت به فریت حاصل میشود. نورد گرم فولاد در این دماها باعث طویل شدن سولفیدها و خراب شدن خواص فولاد بویژه در جهات عمود بر جهت نورد میگردد. اطلاعات جدول ۳ نشان میدهد که تقلیل ضخامت نمونه های فولادی کم گوگرد (محتوی کمتر از ۰/۰۲۵ درصد گوگرد) تا حدود ۱۰۰ درصد از طریق نورد گرم در حوالی دماهای تغییر حالت آستینیت به فریت بدون ایجاد نقص در نمونه ها به سادگی میسر است. در مورد فولادهای پر گوگرد، نه تنها نورد گرم بدلیل طویل شدن سولفیدها مطلوب نیست، بلکه نورد سرد نیز به علت کم بودن قابلیت نورد و تردی فولاد مناسب به نظر نمیرسد (جدول ۲). از آنجا که سولفیدهای منگنز در دماهای پایین شکننده هستند، لذا در اثر نورد سرد ممکن است خرد.

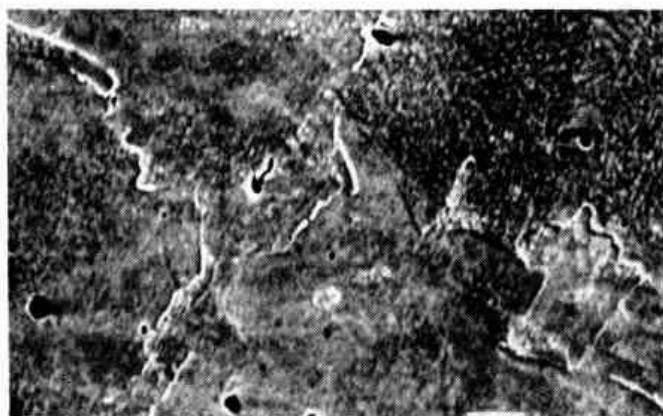
Anneal شود، سولفیدهای تخت بهم پیوسته و استوانه ای شکل خواهند شد. با تاباندن بیشتر، سولفیدهای دنبلی (شکل ۶) بوجود خواهند آمد. ادامه عملیات تاباندن سبب جدا شدن دو قسمت هر دنبلی و در نتیجه ایجاد کره های سولفیدی خواهد شد! از آنجا که رشد سولفیدهای سوزنی و تیغه ای و تغییر شکل آنها به آخالهای کروی در اثر عملیات تابکاری طبق مکانیزم فوق باعث بهبود خواص مکانیکی فولاد میگردد، لذا انجام عملیات تابکاری پس از نورد گرم در فولادهای نوع کربن منگیزی قابل توصیه میباشد. مشخصه های عملیات نورد و تابکاری برای ایجاد سولفیدهای استوانه ای، دنبلی و کروی بترتیب فوق، بستگی به نوع فولاد و میزان گوگرد موجود در آن دارد.

ج) اثر نورد بر شکل آخالهای سولفید منگنز

عموماً "تصور میشود که قابلیت تغییر شکل سولفیدها، اثر زیادی



شکل ۶- ایجاد سولفیدهای دنبیل شکل پس از نورد و تابکاری فولاد پیر گوگرد (۶۷/۵ درصد گوگرد) .



شکل ۵- شکل آخالهای سولفید منگنز بالا - قبل از نورد و پایین- پس از نورد. درصدهای گوگرد، منگنز، سیلیسیوم و کربن در نمونه مورد استفاده به ترتیب ۰/۴۸ و ۱۰/۵، ۰/۵ و ۰/۰۸ بوده است. بزرگنمایی بترتیب ۱۵۰۰ و ۴۵۰ میباشد.

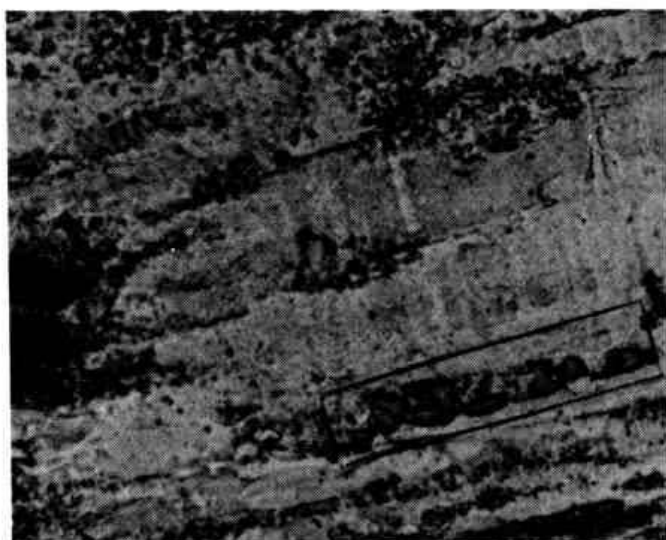
شده و در جهت نورد کشیده شوند (شکل ۷). سولفیدهای خرد شده به صورت جوانه های ترک عمل کرده و باعث شکست قطعه تحت عملیات مکانیکی خواهند شد.

د) اثر شکل آخالها بر غیریکنواختی خواص مکانیکی

طولیل شدن سولفید منگنز در هنگام نورد گرم، باعث غیریکنواخت شدن خواص مکانیکی در سه جهت طولی، عرضی و امتداد ضخامت میشود. در صورتی که عناصر کمیاب حاکی به فولاد کربن منگیزی افزوده شود، شکل آخالها بصورت گرد باقی مانده و یکنواختی خواص آنها حفظ خواهد شد. اثر محتوای گوگرد و شکل آخالهای سولفیدی بر غیریکنواختی شکل پذیری کششی و انرژی شکست شاری در چند نمونه فولاد کربن منگیزی توسط اسپیتزیک Spitzig مورد بررسی قرار گرفته و روابط کمی ریاضی برای محاسبه مقادیر مزبور ارائه شده است (جدول ۴) ^۸.

خاتمه

وجود بیش از ۰/۰۲۵ درصد گوگرد در اغلب فولادها مجاز نمیشود.



شکل ۷- خورد شدن سولفید منگنز در اثر نورد سرد (۱۴/۵ درصد گوگرد)

به علت تشکیل سولفید منگنز در فولادهای نوع کربن منگیزی، میزان حتی کمتر از ۰/۰۲ درصد گوگرد نیز ممکن است باعث ایجاد غیریکنواختی در شکل پذیری و خواص مکانیکی این نوع فولادها گردد. میزان بیش از حد مجاز گوگرد نه تنها بر قابلیت تغییر فرم گرم، بلکه بر قابلیت تغییر فرم سرد فولاد نیز اثرات مخربی اعمال میکند. بطوریکه با حدود ۰/۰۶۷ درصد گوگرد، فولاد قابلیت تغییر فرم خود را بطور کامل از دست میدهد در عین حال مکانیزم عمل گوگرد در دو فرآیند شکل دادن گرم و شکل دادن سرد بایکدیگر متفاوت است. بدین ترتیب که در فرآیند شکل دادن گرم سولفیدها تغییر شکل یافته و در سطح وسیعی از مرز بین دانه گسترش می یابند، در حالی که در فرآیند شکل دادن سرد، ممکن است سولفیدها در اثر اعمال تنشهای کششی و فشاری خرد شده و در سطح نسبتاً "بزرگی

بدیهی است این تغییر شکل سبب یکنواختی خواص در قطعه فولادی خواهد شد. در صورت استفاده از عوامل کنترل کننده شکل سولفیدها مانند کلسیوم، منیزیوم و سریوم، شکل آخالهای سولفیدی تا حدود قابل توجهی ثابت مانده و از اثرات تخریبی آنها بویژه طی فرآیندهای شکل دادن فلز کاسته خواهد شد.

والسلام.

از مرز بین دانه ها پراکنده گردند. اثر هر دو مکانیزم کاهش قابلیت شکل پذیری توأم با افزایش استحکام فولاد میباشد.

اثر عملیات تابکاری Annealing پس از نورد تجمع، رشد و تغییر شکل ظاهری سولفیدهاست که در مورد فولادهای کربن منگیزی از تیغه‌ای به استوانه‌ای، سپس دنبلی و نهایتاً "کروی" تغییر شکل می‌یابند

مراجع

1. Voronva: Desulfurization of Hot Metal by Magnesium, Iran. by TMS and ISS, 1983.
2. Koros: I&SM, Dec. 1986, 21-25,
3. Leslie: " Micro Alloying 75 " , Proceedings of an International Symposium, UCC 1977, 208- 214.
4. Ludwigson, et. al: I&SM, April 1982, 38-43.
5. Cavaghan and Chapman : Rev. de Metallurgie, 1974, 333-334.
6. Wilson & Mclean: Desulfurization and sulfide Shape Control . ISS of AIME. 1980.
7. Fruehan: Ladle Metallurgy Principles and Practices, ISS of AIME, 1985.
8. Spitzig: Met. Trans. A 1984, 1259-1264.
9. Chuang, et, al: Met, Trans. B, 1985, 277-285.
10. Sims and Dahle: Trans. A. F. S, 1938, 65-132.
11. Murty, et. al: Met. Trans. A, 1977, 1275-1282
12. Mclean and Kay: "Micro Alloying 75", Proceedings of an International Symposium, UCC, 1977, 208-214
13. Mohla and Beech : The British Foundryman, 1968, 453-460.