اویل ایندستری
Oilindustry.ir
CLICK HERE

رنگین شدن آلیاژها پس از جوشکاری

سیروس یحیی پور IWE

sirus_yehipoor@yahoo.se

چکیده

آلیاژ ها، وقتی تحت حرارت قرار گیرند لایه هایی اکسیدی در سطح آنها تشکیل می شود. با طولانی شدن زمان حرارت دهی و بالا رفتن دمای فلز، ضخامت اکسید افزایش پیدا میکند. گرچه اکسیدها شفاف نیستند، اما به علت نازکی، نور از اکسید سطحی باقی مانده، پس از سرد شدن فلز عبور می کند. با انعکاس نور بین لایه های بالایی و پایینی اکسید، پدیده تداخل رخ می دهد و سبب ایجاد رنگ در سطح قطعه می شود. هرچه لایه های اکسیدی ناشی از دما، ضخیمتر باشد، رنگ آن، تیره تر خواهد شد. رنگ آلیاژ سرد شده، بسته به ضخامت اکسید ناشی از افزایش درجه حرارت و زمان یا نوع آلیاژ از زرد ملایم به سمت قهوه ای، بنفش، آبی و رنگ های تیره تر تغییر می کند. پدیده رنگین شدن پس از عملیات حرارتی یا جوشکاری که Heat Tint ، Temper Color یا Rainbow Effect نامیده می شود، اگر چه سال ها است که در کتاب های مرجع نظیر ASM Handbooks یا AWS Welding Handbook و منابع دیگر به تفصیل مورد بحث قرار گرفته و اثرات آن بخصوص در مورد آلیاژهای زنگ نزن و تیتانیوم روشن شده است. اما در استانداردهای ساخت، جوشکاری و عملیات حرارتی رایج در صنایع نفت، نظیر متون API و ASME بندرت مطلب قابل توجه ای در مورد رنگین شدن آلیاژها یافت می شود. مهم ترین استانداردهایی که به این پدیده پرداخته اند BS EN ISO 6520-1 و BS EN ISO 5817 هستند. استاندارد ISO 5817 تحت عنوان استاندارد ملی ایران به شماره ISIR 11851 ترجمه و منتشر شده است. در این مطالعه سعی شده است که تا حد امکان دلایل رنگین شدن فلزات، اثرات آن بر مقاومت به خوردگی و دیگر نکات مربوط به این موضوع در فولادهای کربنی و زنگ نزن به تفصیل مورد بررسی قرار گیرد.

واژگان کلیدی

رنگین شدن آلیاژها، عملیات حرارتی، جوشکاری، ضخامت لایه اکسیدی، دمای اکسید

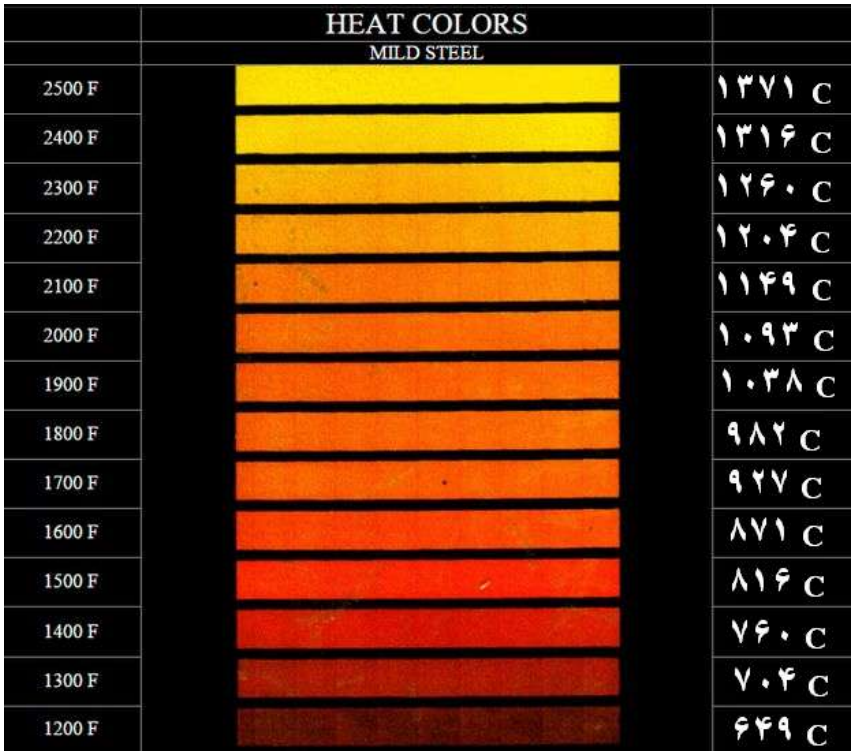
مقدمه

افرادی که با عملیات حرارتی و جوشکاری سر و کار دارند، با رنگین شدن فلزات پس از جوشکاری یا عملیات حرارتی آشنا هستند. این پدیده بیش از همه وقتی رخ می دهد که چند درز جوش نزدیک به هم باشند و حرارت داده شده Heat Input ناشی از فرایند جوشکاری، روی هم اضافه شوند. در چنین شرایطی فولادهای کربنی، کم آلیاژ، زنگ نزن، آلیاژهای تیتانیوم، کبالت، آلومینیوم و نیکل، تغییر رنگ می دهند. یکی از پرسش های بازرسان فنی و متخصصان جوشکاری، این است که تغییر رنگ آلیاژها، چه تاثیری بر خواص مکانیکی و مقاومت به خوردگی آنها دارد. پس از سرد شدن لوله ها و اتصالات و بر اساس رنگ باقی مانده، چگونه می توان در مورد سلامت جوشکاری قضاوت کرد. چه زمانی و در چه شرایطی نیاز به زدودن لایه های اکسیدی است. پاسخ به پرسش های مذکور وقتی مشکل می شود که در استانداردهای ساخت و جوشکاری بندرت مطلبی در مورد این پدیده توجه وجود دارد و اثر آن کم تر مورد بررسی قرار گرفته است. به علاوه در برخی از متون، پدیده تابش رنگ در اثر گرم شدن فلزات را با رنگین شدن پس از حرارت خلط کرده اند و سبب عدم وضوح بیشتر شده اند.

تغییر رنگ فلزات در اثر گرما

الکترون اتم های عناصر، وقتی گرم می شوند، در اثر جذب انرژی، در اطراف مدار الکترونی، شروع به نوسان می کنند و برای رسیدن به سطح تعادل، انرژی جذب شده را بصورت فوتون های الکترو مغناطیسی به بیرون تابش می کنند. آشنا ترین وجه این پدیده که همه با آن آشنا هستیم، نور افشانی لامپ از طریق داغ شدن رشته تنگستن آن است. سطح داغ فلز، بر اساس قوانین تابش جسم سیاه، پرتوی الکترو مغناطیسی می تاباند که در حوزه نور مرئی قرار دارد، با افزایش حرارت این تابش از نور تیره شروع و به سمت نور سفید که دمای ذوب فلزات است، میل می کند.

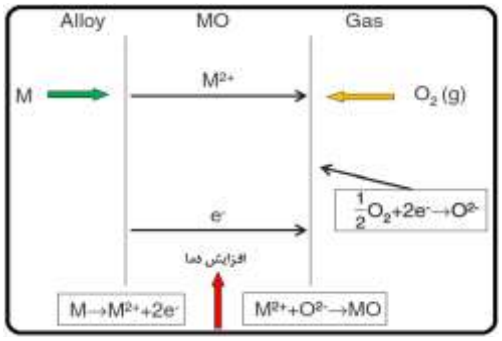
اساس کار دستگاه های اندازه گیری دما از فواصل دور Pyrometers، بر همین خاصیت انتشار طیف نوری خاص هر عنصر در دمای معین استوار است.



تابش رنگ فولاد کربنی داغ

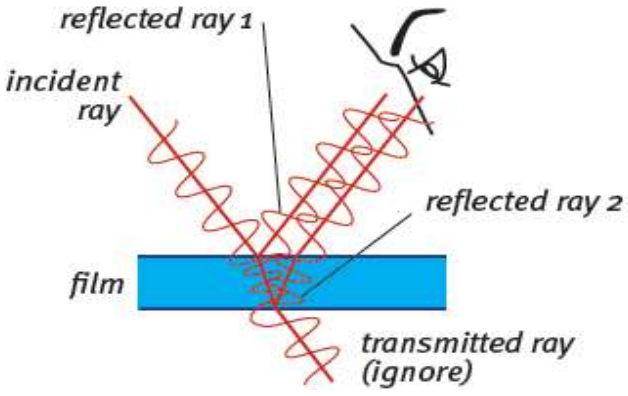
تغییر رنگ فلزات پس از سرد شدن Heat Tint

با گرم شدن فلز، بسته به درجه حرارت و زمان باقی ماندن در دمای معین، در اثر واکنش گازها، بخصوص اکسیژن با سطح داغ فلز، اکسیدی سطحی شروع به شکل گرفتن می کند و هرچه دمای فلز بالاتر رود یا اکسیژن محیط افزایش یابد و فرایند طولانی تر شود، بسته به ترکیب شیمیایی آلیاژ، لایه اکسیدی ضخیم تری تشکیل می گردد.



ارتباط محیط و دما با ضخامت اکسید

اکسید شدن فوق در غیاب رطوبت رخ می هد و در گذشته به عنوان نوع خاصی از خوردگی در نظر گرفته می شد، اما تحقیقات جدیدتر نشان داد که این نوع خوردگی هم چنان از فرایندهای الکتروشیمیایی تبعیت می کند. اکسید شدن در غیاب رطوبت، هنگامی رخ می دهد که فشار جزیی اکسیژن از فشار اکسید Dissociation Oxide Pressure بالاتر باشد. اکسید حاصل در سطح فلز بصورت فیلم های نازکی روی هم ایجاد می شوند. گرچه اکسیدها شفاف نیستند اما به علت نازکی فیلم های اکسیدی، نور از لایه های آن عبور می کند. نازکترین فیلم ها از حدود ۱ میکرون شروع و ضخیم ترین آنها می توانند در حدود ۲ میلی متر ضخامت داشته باشند. اکسید های ضخیم تر اغلب پوسته Scale اکسیدی نامیده می شود. رنگین شدن لایه های اکسید در اثر پدیده تداخل نور Interference صورت می گیرد و وقتی می تواند رخ دهد که ضخامت لایه اکسید حداقل در حدود ۳ میکرون باشد. اولین مراحل تشکیل فیلم اکسیدی در سطح فلز با چشم غیر مسلح قابل دیدن نیست. اما هنگامی که ضخامت فیلم اکسید حداقل معادل یک چهارم طول موج نور مریی شود، تداخل نور در سطح خارجی Outer و سطح داخلی Inner فیلم اکسیدی رخ می دهد و رنگ حاصل قابل دیدن خواهد شد.



دیده شدن نور در اثر تداخل

ضخامت لایه اکسیدی به درجه حرارت، زمان باقی ماندن در دما و ترکیب شیمیایی فلز پایه بستگی دارد. بیشتر بازرسان فنی، دلیل ایجاد رنگ اکسیدهای پس از جوشکاری یا عملیات حرارتی را صرفا به درجه حرارت نسبت می دهند، اما افزایش یا کاهش زمان باقی ماندن در دماهای بالا نیز اثری مشابه دارد. در شکل زیر تفاوت ضخامت اکسید و رنگ های حاصل از آن را در دمای ثابت و زمان متغیر ملاحظه می کنید. از آنجایی که در شرایط معمول کارگاهی، عامل اصلی افزایش سرعت و ضخامت اکسید، درجه حرارت جوشکاری است، اگر از زمان و ترکیب شیمیایی آلیاژ صرف نظر شود، بر اساس بازتاب رنگ لایه اکسیدی و با درصدی از خطا، می توان حدود دمایی که فلز در آن قرار داشت را حدس زد.

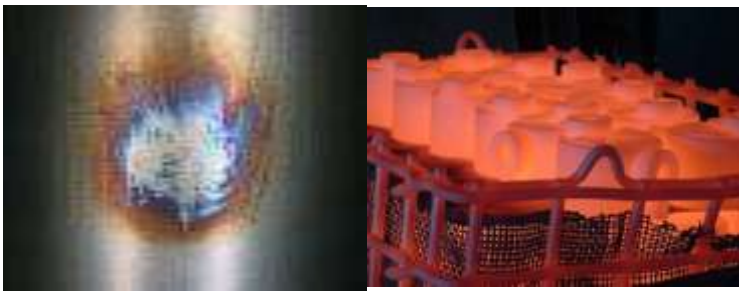
تاثیر زمان نگهداری فولاد زنگ نزن ۳۰۴ در دمای ثابت ۸۰۰ درجه سانتی گراد

همانطور که در سطرهای بالا قید شد، فیلم های نازک اکسیدی رنگ های روشن طلایی و پوسته های ضخیم اکسیدی رنگ های تیره خواهند داشت. جدول های متعددی از سوی مراجع مختلف انتشار یافته است که بسته به هدف تهیه کنندگان تفاوت هایی را با هم دارند. در ذیل نمونه ای از این جدول های تقریبی ملاحظه می شود.

Color	Temperature
Light Yellow	550 degrees F/290 degrees C
Straw Yellow	640 degrees F/340 degrees C
Yellow	700 degrees F/370 degrees C
Brown	735 degrees F/390 degrees C
Purple Brown	790 degrees F/420 degrees C
Dark Purple	840 degrees F/450 degrees C
Blue	1,000 degrees F/540 degrees C
Dark Blue	1,110 degrees F/600 degrees C

جدول رنگ لایه اکسید بر اساس درجه حرارت

مقایسه رنگ های ناشی از گرم شدن و لایه های اکسیدی

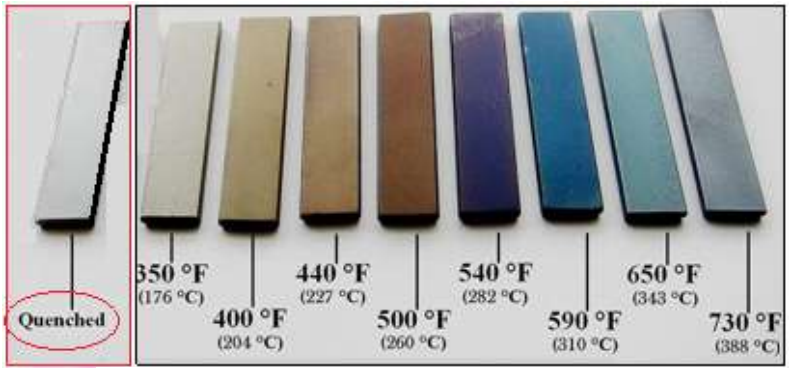


تابش فلز داغ رنگ ناشی از اکسید شدن

رنگ ناشی از تابش فولاد داغ، از رنگ های تیره شروع و با افزایش دما بسمت رنگ های روشن میل می کند. در دمای ذوب رنگ فولادها سفید درخشان است. رنگ فلز اکسید شده مسیری برعکس دارد. اکسید نازک ناشی از دمای پایین تر از رنگ طلایی کمرنگ دارد و با افزایش دما و ضخامت لایه اکسیدی رنگ ها به سمت تیره متمایل می شوند.

رنگین شدن در اثر عملیات حرارتی

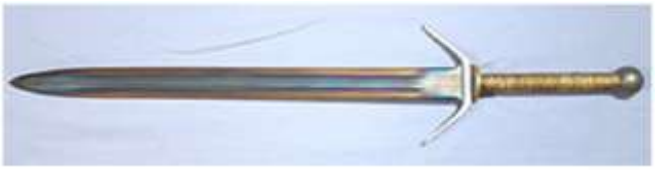
در کارگاه های ساخت و نصب گاهی لازم است که برای کاهش تنش های پسماند از عملیات حرارتی تنش زدایی بصورت موضعی یا کامل استفاده شود. از آنجاییکه اصولا تمام انواع عملیات حرارتی نسبت به جوشکاری زمان بیشتری دارند و مراحل آنها به آهستگی صورت می گیرد، مطالعه تشکیل فیلم اکسیدی و رنگ حاصل آن در این عملیات آسانتر از جوشکاری است در شکل رنگ حاصل از حرارت دادن آهسته فولاد کربنی در عملیات حرارتی را ملاحظه می کنید.



تغییر رنگ فولاد کربنی در عملیات حرارتی

جدول ها و نمودارهای مربوط به تغییر رنگ فلزات در اثر عملیات حرارتی Temper Color بطور قابل ملاحظه ای دقیق تر از تغییرات رنگ ناشی از جوشکاری است و در این زمینه مطالعات بیشتری صورت گرفته است. مقایسه دو بخش تصویر بالا، بنحو ضمنی اثر زمان نگهداری فولاد در دمای بالا را هم نشان می دهد. مشاهده می شود که در Quenching علیرغم این که از دمای به مراتب بالاتری استفاده می شود اما به علت زمان کوتاه قرار گرفتن در دمای بالا، بازتاب رنگ اکسید حاصل روشن تر از دماهای کمتر اما با زمان قرار گرفتن طولانی تر است.

تباین رنگ در شمشیر تصویر پایین به این علت است که برای داشتن خواص توام ضربه پذیری و سختی، قسمت داخلی پس از سردکاری سریع Quenching برای مدت طولانی تری تحت عملیات حرارتی برگشت Tempering قرار داده شد و قسمت بیرونی برای با سرد زیادتری سرد شد. در نتیجه اکسید سطح میانی شمشیر ضخامت بیشتری دارد و بازتاب رنگ آن تیره تر از لبه ها است که اکسید نازکتری دارد و بسرعت سخت شده است.

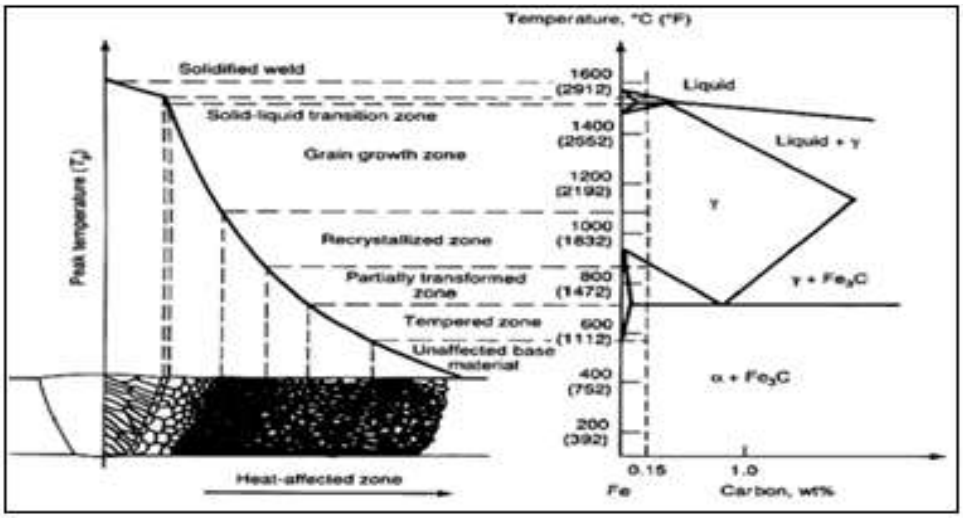


تفاوت رنگ در شمشیر آبکاری شده

تغییر رنگ تابه آشپزخانه

رنگین شدن در اثر جوشکاری

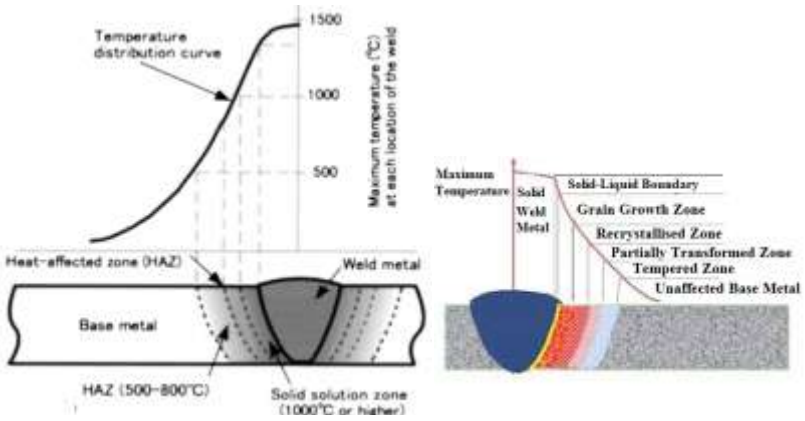
در جوشکاری پدیده های گرم شدن، ذوب، انجماد و تغییرات کریستالی در زمانی بسیار کوتاه صورت می گیرد. به عنوان مثال گرچه دمای مرکز قوس الکتریکی در حدود ۶۰۰۰°C و دمای حوضچه مذاب جوش بالاتر از ۱۶۰۰°C است، اما پس از زمانی کمتر از چند صدم ثانیه دمای فلز جوش و نواحی اطراف آن بشدت افت می کند. افزایش فاصله از مرکز جوش نیز اثری مشابه در توزیع حرارت دارد. این ویژگی که عامل مشترک اغلب فرایندهای جوشکاری است، با حفظ مبانی تئوریک پایه، عوامل دیگر را تحت الشعاع قرار می دهد و برای تاکید بر عامل زمان، گاهی متالورژی جوشکاری را متالورژی در زمان کوتاه می نامند. نمودار توزیع دمای جوشکاری فولاد کربنی و ساختار میکروسکوپی حاصل در شکل ذیل آورده شده است.



توزیع حرارت در جوشکاری فولاد کربنی ساده

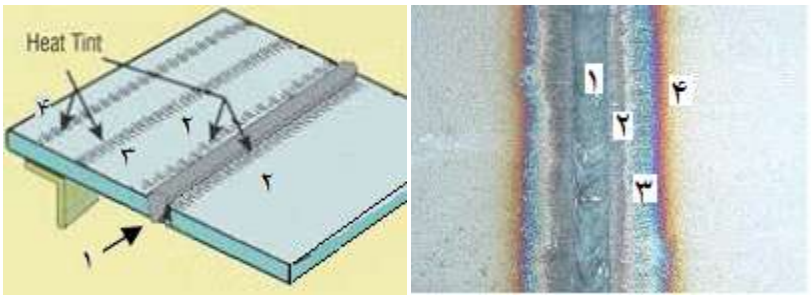
نواحی تحت تاثیر حرارت جوشکاری

در شکل های پایین نواحی جوش در اثر توزیع حرارت نمایش داده شده است.



نواحی ایجاد شده در اثر حرارت جوشکاری

نواحی جوش



نواحی جوش

۱) فلز جوش Weld Metal

فلز جوش به ناحیه ای اطلاق می شود که بطور کامل ذوب شده باشد. فلز جوش در اثر محافظت با سرباره یا گازهای محافظ، اصولا نباید اکسید و رنگین شود. مهره های جوش خوب، نباید رنگ متفاوتی از فلزات پایه داشته باشد. مگر آن که تفاوت رنگ مهره جوش و فلز پایه ناشی از تفاوت ترکیب شیمیایی فلز پرکننده باشد. نظیر تباین رنگی که بین الکترود با ۹۴ درصد نیکل و فلز پایه، در جوشکاری چدنها وجود دارد.

۲) ناحیه ذوب ناقص Partially Melted Zone

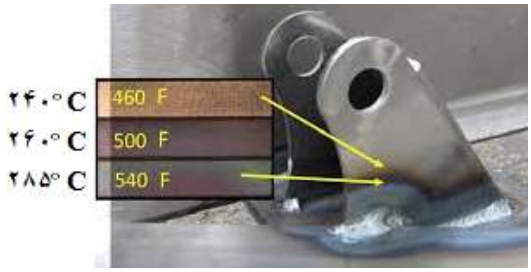
ناحیه بسیار باریک، با عرض ۱ تا ۳ میلی متر است که محدوده دقیق آن به فرایند جوشکاری و حرارت داده شده Heat Input بستگی دارد، در این منطقه به درجاتی پدیده ذوب جزیی رخ می دهد اما قبل از ترکیب با فلز جوش، منجمد می شود. گرچه این ناحیه گاهی در متالورژی انجماد به دو منطقه PMZ و Unmixed Zone تقسیم می گردد که تفاوت هایی با هم دارند اما در این بررسی که اساسا بر اکسید شدن نواحی جوش متمرکز است، این نواحی رفتار یکسانی بروز می دهند. پس از فلز جوش این نواحی تحت تاثیر بیشترین حرارت پس از فلز جوش قرار دارند و چون به خوبی تحت محافظت سرباره یا گاز محافظت نیستند، اکسید می شوند. اما بر اثر همان محافظت ناقص، لایه اکسیدی آنها به ضخامت نواحی دورتر تحت تاثیر حرارت نیست و رنگ روشن تری را بازتاب می دهد.

۳) ناحیه تحت تاثیر حرارت Heat Affected Zone

تغییرات دمایی این ناحیه در حدی است که سبب دگرگونی فازی در حالت جامد می شود و به علت عدم محافظت، ضخیم ترین لایه اکسید را دارد. در عرض این ناحیه و با دورتر شدن از خط مرکزی جوش رنگ ها از تیره به سمت روشن میل می کنند.

٤) انتهای ناحیه تحت تاثیر حرارت

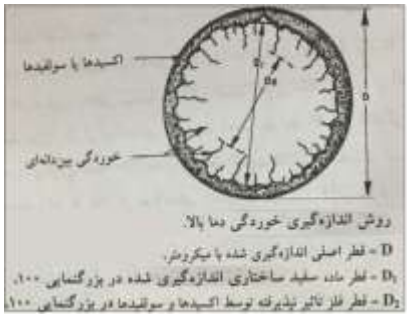
تغییرات دما در این نواحی باندازه ای نیست که اکسید تشکیل شود و معمولا تفاوت رنگی با دیگر بخش های فلز پایه ندارد.



نواحی تحت تاثیر حرارت

اثر اکسیدها بر مقاومت به خوردگی

در فولادهای کربنی و کم آلیاژ، لایه های اکسیدی بطور عادی مشکل اساسی ایجاد نمی کند. اما در فولادهای آلیاژی و حساس نظیر فولاد زنگ نزن، لایه های اکسیدی ناشی از درجه حرارت بالا می توانند سبب کاهش میزان مقاومت به خوردگی شوند. آزمایش های خوردگی ASTM G-54 در مورد فولادهای زنگ نشان می دهد که لایه های اکسیدی دمای بالا مرز دانه های سطحی و نزدیک به سطح را از کرم فقیر و مقاومت به خوردگی را کاهش می دهد. بر خلاف اکسید کرم محافظ فولادهای زنگ نزن که در شرایط عادی تشکیل می شود و از یکنواختی و چسبندگی برخوردار است، اکسیدهای دمای بالا مخلوطی از $Cr^2 O^3$ و اکسیدهای Amorphous سیسلیس، تیتانیوم و ... است و حفره های متعددی دارد.



جدول ذیل ضخامت فیلم اکسید تشکیل شده در فولادهای زنگ نزن ۳۱۰ و ۳۱۲ در دمای ۱۰۰۰°C را نشان می دهد، این لایه اکسیدی همانطور که در فوق ذکر شد، علاوه بر داشتن حفره ها و عدم پیوستگی و فقیر کردن مرز دانه های سطحی، بدلیل Amorphous بودن، شکننده است و در اثر ضربات مکانیکی یا تنش های حرارتی می تواند بشکند و سبب ترک برداری خوردگی تنشی شود یا اکسیداسیون را تشدید کند.

فولاد	زمان (ساعت)	ضخامت لایه اکسید (میکرون)	عمق نفوذ بین دانه ای (میکرون)
۳۱۰	۷	۳–۵	۳
	۲۴	۵–۷	۶
	۱۰۰	۸–۱۲	۱۲
	۱۰۰۰	۲۰–۳۰	۵۲
۳۲۱	۷	۳–۱۵	۱۲
	۲۴	۵–۳۰	۲۰
	۱۰۰	۱۰–۵۰	۳۰
	۱۰۰۰	۳۰–۴۰۰	۶۰

نتایج ضخامت فیلم اکسیدی در فولاد زنگ نزن ۳۱۰ و ۳۲۱ در دمای ۱۰۰۰°C

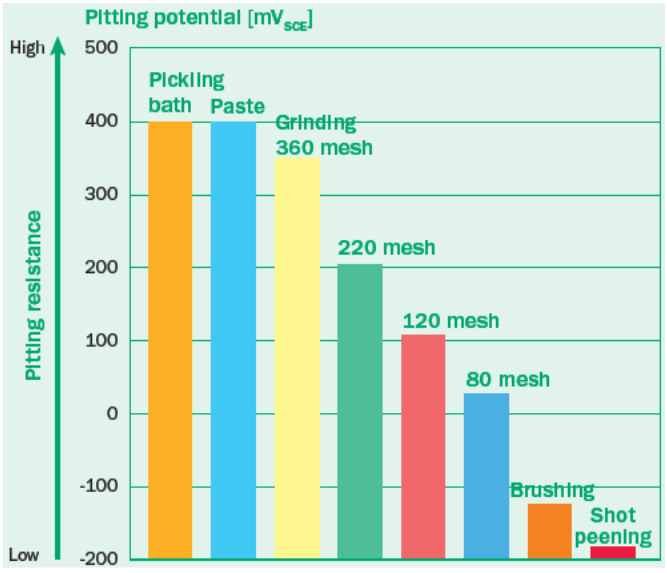
پاک کردن اکسید ها

برای رفع لایه های اکسید ناشی از دمای بالا که در حین عملیات جوشکاری یا حرارتی ایجاد می شود، راه های متعددی وجود دارد. بسته به شرایط از روشهای مکانیکی نظیر سنگ زنی یا تمیز کاری با برس برقی و روش های شیمیایی نظیر اسید شویی Pickling یا ... برای برداشتن لایه های اکسیدی ناشی از جوشکاری و عملیات حرارتی استفاده می شود.

تمیز کاری فولاد زنگ نزن به روش اسید شویی Pickling

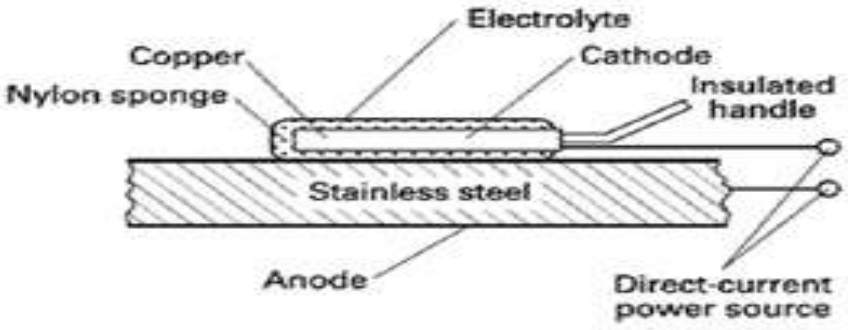
در تمیزکاری مکانیکی استفاده از برس سیمی زنگ نزن و پاشش ساچمه زنگ نزن یا شیشه Stainless Shot Blast or Glass Blast و سنگ زنی مرسوم ترین روشها هستند.

روش تمیز کاری شیمیایی می تواند از طریق مواد شیمیایی پاک کننده یا با استفاده از ژل های تمیز کننده که بصورت بسته بندی شده در بازار موجود است صورت گیرد. در صورت انتخاب روش اسید شویی Pickling طبق استاندارد ASTM A380 با استفاده ازمخلوط اسید نیتریک و اسید فلوریدریک محلولی اسیدی درست می شود که پس از تمیز کاری نیاز به شستشو، خنثی کردن و خشک نمودن دارد .



مقایسه روشهای اکسید زدایی در افزایش مقاومت به خوردگی حفره ای

در استاندارد EN-1011-3 روش اسید شویی به عنوان موثرترین راه حل تمیزکاری سطحی و روش Electro Polishing در مرحله بعد توصیه شده است. تمیزکاری فولادهای زنگ نزن به هر روشی که انجام شود، بسیار حساس است و باید نکات مهمی را در آن رعایت کرد. در ذیل روش تمیز کاری Electro Cleaning فولاد زنگ نزن مشاهده می شود.



اصول کار دستگاه Electro Cleaning or Polishing

استانداردهای بازرسی و ساخت

همانطور که قبلا قید شد،در استانداردهای ساخت و بازرسی بندرت مقوله اکسید شدن پس از جوشکاری مورد توجه قرار گرفته است. مهمترین استانداردهایی که در این زمینه وجود دارد عبارتند از

- استاندارد BS EN ISO 5817- Welding Fusion Welded Joint in Steel, Nickel, Titanium and their alloys(beam welding excluded) Quality levels for imperfection ترجمه ای از این استاندارد بنام استاندارد ملی ایران ISIR 11851 تحت عنوان " اتصالات ذوبی فولاد، نیکل، تیتانیوم و آلیاژهای آنها(جوشکاری پرتو الکترونی مستثنی شده است) انتشار یافته است.

این استاندارد دارای ۵ فصل و سه متن الحاقی Annex است. سطوح کیفیت در آن به سه سطح B,C and D تقسیم شده که سطح B بالاترین کیفیت را دارد. هدف استاندارد صرفا بازرسی چشمی عیوب است و شامل روشهای بازرسی غیر مخرب و حدود پذیرش عیوب آن نیست. استاندارد شامل تمام موارد ساخت و نصب نیست و باید در هر مورد معین بررسی مشخص صورت گیرد. برای طبقه بندی و شماره گذاری عیوب از استاندارد BS 6520-1 پیروی شده است

BS EN ISO 5817:2014
ISO 5817:2014(E)

Table 1 — Limits for imperfections

No.	Reference to ISO 6520-1	Imperfection designation	Remarks	t mm	Limits for imperfections for quality levels		
					D	C	B
1.24	610	Temper colour (Discoloura-tion)	—	≥ 0,5	Acceptance depends on application, e.g. material, corrosion protection	Acceptance depends on application, e.g. material, corrosion protection	Acceptance depends on application, e.g. material, corrosion protection

عیب تغییر رنگ آلیاژ طبق استاندارد BS 5817

- عیوب جوشکاری در استاندارد ISO 6520-1 Welding and allied processes-classification of geometric imperfection in metallic material-part1: Fusion welding به ۶ دسته تقسیم شده اند. عیوب متالورژیکی Metallurgical Imperfection در این استاندارد بررسی نشده اند. در دسته ۶ یا دسته عیوب متفرقه Miscellaneous، در ۳ بند، بطور اختصار عیوب ناشی از تغییر رنگ آلیاژها مورد بررسی قرار گرفته است.

ISO 6520-1:2007(E/F)

Table 1 — Classification of imperfections

Reference No.	Designation and explanation
	Group No. 6 — Miscellaneous imperfections
610	**temper colours (visible oxide film)** lightly oxidized surface in the weld zone, e.g. in stainless steels
6101	**discolouration** visibly tinted surface layers in the weld metal and heat-affected zone caused by the weld heat and/or by lack of protection, e.g. in titanium
613	**scaled surface** heavily oxidized surface in the weld zone

عیوب تغییر رنگ آلیاژ در استاندارد ISO 6520-1

در متن الحاقی Annex B استاندارد ISO 6520-1 طبقه بندی عیوب با استاندارد ISO/TS 17845 مطابقت یافته است.

Table B.1 — Correspondence with the classification of imperfections given in EN ISO 6520-1

ISO 6520-1:2007			ISO/TS 17845:2004
Reference	**Designation**	**Precision**	**Designation**
610	**temper colour (visible oxide film)**		7EAAA

مطابقت سیستم طبقه بندی عیوب استاندارد BS 6520-1 با ISO/TS 17845

- در استاندارد EN-1011-3 به عیوب تغییر رنگ بصورت مستقیم اشاره ای نشده است اما در بند ۱۰ الزام به تمیزکاری برای بهبود مقاومت به خوردگی پس از PWHT وجود دارد که در ذیل مشاهده می شود..

10 Post-weld cleaning

The corrosion resistance of stainless steel weldments is significantly affected by their surface condition. The degree of post weld cleaning necessary depends upon the weld quality requirements and should be as required by the design specification.

Post weld cleaning can be carried out by several processes, either separately or in combination, for example:

- **Brushing:** Dedicated wire brushes made with stainless steel bristles or other compatible material should be used. This technique cannot be used, in general, to remove adherent contaminants. Care should be taken when using mechanical rotary brushing as this may deform the surface giving microcrevices which will reduce corrosion resistance. It may be necessary to follow brushing with a pickling operation.

- **Blasting:** This technique is used for removal of adherent contaminants and also to give residual compressive stresses in the surface. Recommended blasting media include glass and stainless steel shot. These shall be free from iron or carbon steel contamination.

- **Grinding:** Dedicated iron free grinding discs, belts or wheels should be used. Excessive grinding should be avoided to prevent damage to the surface and thinning of the parent metal. The technique is used to remove heavy surface contaminants and to blend the weld smoothly into the parent metal.

- **Pickling:** Pickling removes surface oxides or surface layers of the steel by chemical reaction. An acid medium is used whose composition is dependent on the type of steel, pickling temperature and time. Careful removal of all pickling products needs to be carried out.

- **Electro-polishing:** This is used, generally, on nonstabilized stainless steels to give a smooth surface for optimum corrosion resistance.

For optimum corrosion resistance the most effective cleaning processes are pickling and electro-polishing, followed by a natural or induced passivation treatment.

استاندارد BSEN 1011-3 در مورد تمیزکاری لایه های اکسیدی پس از PWHT

- استاندارد ASME B31.3 پرکاربردترین متن مورد استفاده در جوشکاری سیستم لوله کشی تحت فشار فرایندی است، گرچه در متن اصلی به موضوع تمیزکاری لوله ها پس ار جوشکاری یا عملیات نمی پردازد، اما به عنوان راهنمایی Guidance در Appendix F paragraph F335.9 دلایل و روش های تمیزکاری لوله ها و اتصالات را پس از جوشکاری به اختصار تشریح کرده است.

بازرسی فنی

- با بازرسی حین جوشکاری، تنظیم دقیق درز اتصال و عدم جوشکاری بلافاصله درزهای نزدیک به هم، می توان از اکسید شدن فلزات کاست
- ضخامت لایه های اکسیدی در شرایط معمولی کارگاه های ساخت و نصب، بیش از همه به درجه حرارت فرایند جوشکاری یا عملیات وابسته است.

- هرچه لایه اکسیدی ضخیم تر باشد، بازتاب نور آن تیره تر خواهد بود. رنگ تیره، نشانگر حرارت داده شده Heat Input بالا است و باید تا حد امکان از وقوع آن پرهیز کرد.
- باقی ماندن لایه های اکسیدی در فولاد های کربنی و کم آلیاژ، مشکل اساسی در خوردگی ایجاد نخواهد کرد. گرچه برای رنگ آمیزی لوله و اتصالات ممکن است که رفع آن الزامی شود.
- تمیز کاری لایه اکسیدی در فلزات حساس، نظیر فولاد زنگ نزن و آلیاژهای تیتانیوم، کبالت، نیکل و ... الزامی است.
- باقی ماندن لایه اکسید سطحی در فولاد زنگ نزن ضمن آنکه سبب کاهش مقاومت به خوردگی می شود، امکان وقوع ترک برداشتن تنشی Stress Corrosion Cracking را محتمل تر می کند.
- بازرسی لایه های اکسیدی به تجربه و اطلاعات تخصصی بازرس بستگی دارد.
- در API RP 582 برای حداکثر دمای بین پاسی توصیه هایی درج شده است که بازرسان فنی می توانند از آن کمک بگیرند.

API RECOMMENDED PRACTICE 582
THIRD EDITION, MAY 2016

WELDING GUIDELINES FOR THE CHEMICAL, OIL, AND GAS INDUSTRIES

Table 4—Recommended Maximum Interpass Temperatures

Material Group	Maximum Interpass Temperature
P-No. 1 (carbon steels)	600 °F (315 °C)
P-No. 3, P-No. 4, P-No. 5A, P-No. 5B, P-No. 5C, and P-No. 15E (low-alloy steels)	600 °F (315 °C)
P-No. 6 (Type 410)	600 °F (315 °C)
P-No. 6 (CA6NM)	650 °F (345 °C)
P-No. 7 (Type 405/410S)	500 °F (260 °C)
P-No. 8 (austenitic stainless steel)	350 °F (175 °C)
P-No. 10H (duplex and super duplex stainless steels)	Refer to Table 5
P-No. 11A, Group 1	350 °F (175 °C)
P-No. 41, P-No. 42	300 °F (150 °C)
P-No. 43, P-No. 44, and P-No. 45	350 °F (175 °C)

حداکثر دمای بین پاس های جوشکاری

هنر رنگین کردن فلزات

پدیده رنگین شدن فلزات سرد شده، از مرز های صنعت فراتر رفته و نظر برخی از هنرمندان علاقه مند به فلز کاری را بخود جلب کرده است. در تصویر ذیل نمونه ای از Tint Art را ملاحظه می کنید.

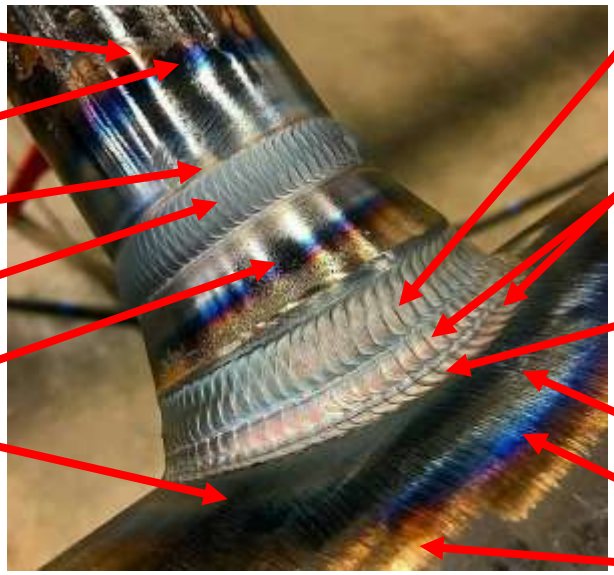
پیوست شماره ۱

رنگ اکسید فولاد کربنی در دماهای مختلف

Description	Fahrenheit	Color	Celsius
Clear - As fully hardened	100°		38°
Pale yellow	420°		216°
Very pale yellow	430°		221°
Light yellow , Straw	440°		227°
Pale straw-yellow , Straw	450°		232°
Straw-yellow	460°		238°
Deep straw-yellow	470°		243°
Dark yellow , Light orange	480°		249°
Yellow-brown , Orange	490°		254°
Brown-yellow , Bronze	500°		260°
Spotted red-brown	510°		266°
Brown with purple spots	520°		271°
Light purple , Purple	530°		277°
Full purple , Purple	540°		282°
Dark purple	550°		288°
Full blue ,	560°		293°
Dark blue , Blue	570°		299°
Dark blue	590°		310°
	610°		321°
	630°		332°
	640°		338°
	650°		343°
Dark grey	700°		371°
	750°		400°
	800°		427°
	900°		482°
Dark brown	1000°		538°
Description	**Fahrenheit**	**Color**	**Celsius**

پیوست شماره ۲

نمونه ای از لایه های اکسیدی در جوشکاری انشعاب فولاد زنگ نزن



منابع

۱) رضوی، علیرضا. منشی، احمد. *انجماد در جوشکاری*. انتشارات ارکان دانش، تهران، چاپ دوم، ۱۳۹۴.

۲) ... ترجمه طرقی نژاد، محمدرضا. عسگری، حامد. *تبلور مجدد و پدیده های مرتبط با آنیل*. انتشارات دانشگاه فردوسی، مشهد، ۱۳۸۹.

۳) ... ترجمه جوادپور، سیروس. رفیعی، رحیم. *خوردگی مقاطع جوش*. انتشارات دانشگاه شیراز، چاپ اول، ۱۳۹۵.

۴) ... ترجمه رحمتی، محمد. شمعانیان، مرتضی. *متالورژی جوشکاری و جوش پذیری فولادهای زنگ نزن*. جهاد دانشگاهی، ۱۳۹۱.

5) BS EN 1011-3 *Welding Recommendations for welding of metallic materials Part 3: Arc welding of stainless steels.*2000

6) EN ISO 5817, *Welding - Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) - Quality levels for imperfections*. Brussels,2014.

7) ISO 6520-1,*Welding and allied processes -Classification of geometric imperfections in metallic materials -Part 1: Fusion welding*. Second edition, Switzerland, 2007.

8) Dunlap j. McAdam, Jr. Glenn W. Geil." RATE OF OXIDATION OF STEELS AS DETERMINED FROM INTERFERENCE COLORS OF OXIDE FILMS". Research of the National Bureau of Standards, Vol (23), July 1939.