



## چهارمین کنفرانس مشعل و کوره های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ هجری: هم اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ www.Koureh.ir

### بررسی پدیده رشد ترک در سطح کوره های صنعتی و روشهای تعمیر و جلوگیری از رشد آن

غلامعلی بیوک پور<sup>۱</sup>، سید امیر حسینی<sup>۲</sup>، حسین فرزندی<sup>۳</sup>  
gbiukpour@yahoo.com  
بوشهر، عسلویه، شرکت گاز پارس جنوبی، پالایشگاه دوم

#### چکیده:

ترک در اثر تنش های حرارتی و دینامیکی بر روی سطح جداره کوره خصوصا " محل اتصال ورق های تشکیل دهنده کوره که اتصال بصورت جوش می باشد به مرور زمان ایجاد و رشد می نماید که اگر به موقع نسبت به شناسایی و رفع آنها اقدام نشود، به سرعت در سطح ورقهای کوره رشد کرده و باعث ایجاد شکاف در بدنه کوره می شود که منجر به صدمات جبران ناپذیر و هزینه های تعمیراتی گزافی و توقف تولید می گردد .

با استفاده از تستهای غیر مخرب و بازرسی های مستمر خصوصا " در هنگام توقف کوره در محل اتصال ورقه ها و محللهایی که احتمال تنش های حرارتی و دینامیکی بیشتر می باشد می توان به موقع ترکها را که در حد خیلی کوچک در حدود ۱ سانتیمتر و کمتر می باشد، شناسایی و نسبت به رفع آنها و جلوگیری از رشد ترکها در بدنه کوره اقدام کرد.

واژه های کلیدی: کوره، ترک، متالاک، جوشکاری، تست غیر مخرب

۱- مهندسی مکانیک

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک تبدیل انرژی

۳- مهندسی مکانیک



# چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ [www.Koureh.ir](http://www.Koureh.ir)

## مقدمه:

در اینجا به تعریف مفاهیم پایه از جمله ترک می پردازیم.

ناپیوستگی (Discontinuity): هر گونه اغتشاش در خواص متالورژیکی یا مکانیکی یا فیزیکی جسم ناپیوستگی نامیده می شود. عیب (Defect): ناپیوستگی هایی که باعث شود خواص استاندارد قطعه از بین رود، عیب نامیده می شود. یک ناپیوستگی لزوماً عیب نیست

ترک در جوش ویا فلز پایه زمانی ایجاد می شودکه تنشهای موضعی از حد استحکام ماده فراتر روند .

## انواع ترک:

**طولی:** ترکهای طولی در جوشهای کوچک بین مقاطع سنگین، معمولاً بر اثر سرعت بالای سرد شدن و تنش بالا رخ می دهند.

**عرضی:** معمولاً بر اثر تنشهای طولی انقباضی، روی فلز جوش با چکش خواری کم بوجود می آیند.

**ستاره ای:** در اثر قطع نامناسب جوشکاری قوسی در چاله انتهایی جوش بوجود می آیند.

**ریشه:** ترکهای طولی ایجاد شده در ریشه جوش یا سطح ریشه هستند.

انواع ترک بر حسب دمایی که در آن ایجاد می شود:

### ● ترک گرم

ترکهای گرم در حین انجماد و یا قبل از اینکه حرارت جوش به طور کامل برطرف شود، بوجود می آیند.

### ● ترک سرد

ترکهای سرد بعد از تکمیل انجماد بوجود می آیند که به آنها ترکهای تأخیری نیز گفته می شود.

## روشهای شناسایی ترک به روش غیر مخرب

### 1) روش FLOURESENT MAGNETIC TEST

در کوره هایی که بدنه فلزی آنها خاصیت مغناطیسی دارد با استفاده از آهن ربای قوی برقی ومواد فلورسنت مغناطیس ، تمام قسمتهای جوش که اتصال ورقه های کوره می باشد را تست می کنیم.

این روش دقیق ترین روش برای پیدا کردن ترکهای مویی برای سطح بیرونی کوره می باشد. در این روش نیاز به برق ، آهن ربای برقی دستی برای ایجاد میدان مغناطیس ، لامپ فلورسنت ، و ایجاد تاریکی برای تشخیص دقیق ترک لازم می باشد

### ۲) روش مایعات نافذ

این روش یکی از قدیمی ترین روشهای تست غیر مخرب می باشد که در قدیم از پودر گچ ونفت جهت تشخیص به کار برده می شد. این روش رایج ترین آزمون غیر مخرب می باشد که جهت تشخیص عیوب وترکهای سطحی به کار برده میشود که حساسیت زیادی نسبت به عیوب سطحی دارد. انجام بازرسی به جنس ماده بستگی ندارد یعنی برای تشخیص عیوب سطحی انواع مواد قابل



## چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ [www.Koureh.ir](http://www.Koureh.ir)

کاربرد می‌باشد. ولی با این روش مواد زبر و متخلخل قابل بازرسی نیستند. از طرف دیگر این روش با توجه به اینکه مایعات نفوذ ناپذیر به کار برده می‌شود نسبتاً " زمان بر می‌باشد. اصول کلی انجام این روش به شرح ذیل می‌باشد.

- مبنای آزمون عبارتست از نفوذ یک مایع در عیوب ( منافذ ) سطحی در اثر جاذبه موئینگی Capillary Attraction و مشاهده ترکهای سطحی با چشم غیر مسلح پس از انجام عملیات ظهور بر روی مایع نافذ.
- به منظور نمایان شدن کامل ترکها، مایع نافذ با یک ماده رنگی روشن رنگ آمیزی شده یا ماده ای فلورسانت به آن افزوده می‌شود .
- این روش آزمون را می‌توان برای عیب یابی بسیاری از قطعات، به شرط آنکه عیوب به سطح قطعه راه داشته باشند، به کار گرفت.
- ماده رنگی معمولاً قرمز است و سطح پس از افزودن ماده ظاهر کننده، با نور معمولی هم قابل رویت خواهد بود، ولی در حالت دوم قطعه را باید در نور فرا بنفش مورد بازرسی چشمی قرار داد .



مراحل انجام بازرسی با مایعات نافذ

- تمیز کردن سطح نمونه
- اعمال مایع نافذ
- منتظر بودن به اندازه زمان نفوذ (Dwell Time)
- حذف مایع نافذ اضافی
- اعمال آشکار ساز
- بررسی سطح برای مشاهده و ثبت نتایج

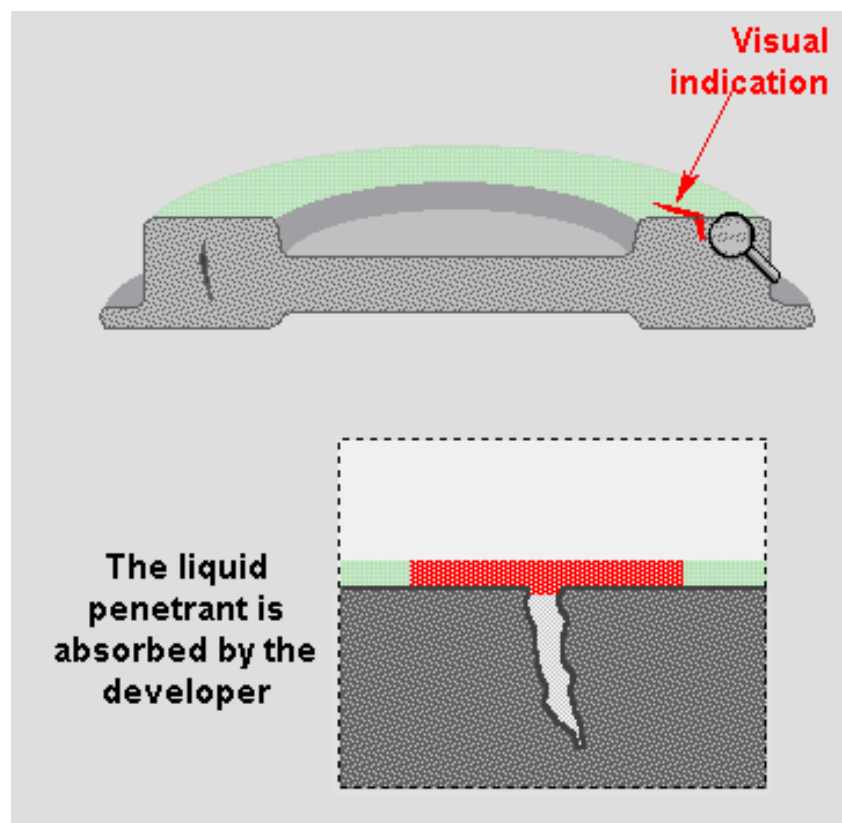


## چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ [www.Koureh.ir](http://www.Koureh.ir)

تمیزکاری نهایی (در صورت لزوم)



### اصول فیزیکی

بازرسی با مایعات نافذ به طور عمده به تر شدن مؤثر یک نمونه یا قطعه کار جامد توسط یک عامل نفوذ کننده که روی سطح مذکور جریان می‌یابد، وابسته است.

قابلیت یک مایع نافذ برای جریان یافتن روی سطح و ورود به حفره‌ها به طور عمده به موارد زیر بستگی دارد:

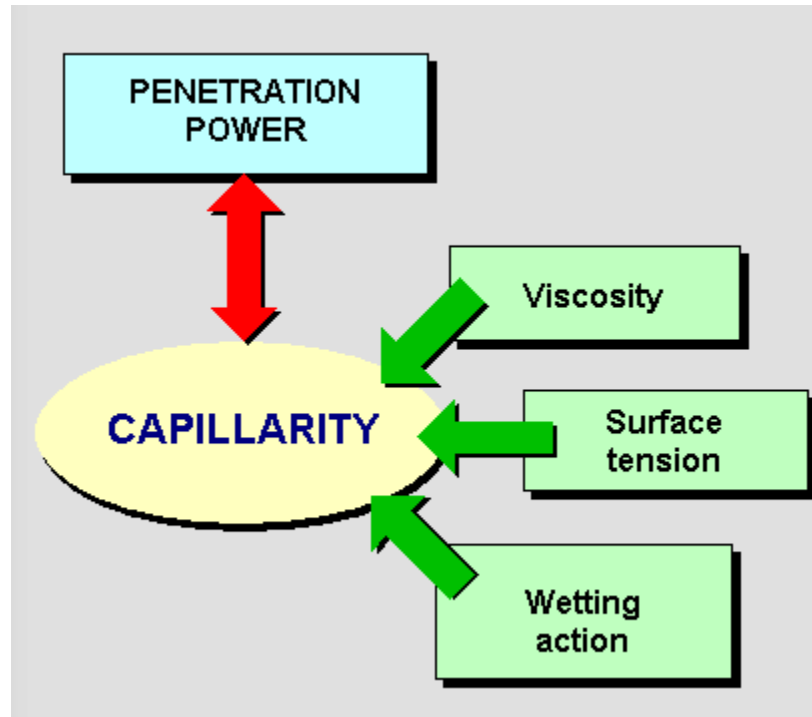
۱. تمیزی سطح
۲. پیکر بندی حفره
۳. تمیزی حفره
۴. اندازه گشودگی دهانه حفره
۵. کشش سطحی مایع نافذ
۶. توانایی مایع در تر کردن سطح



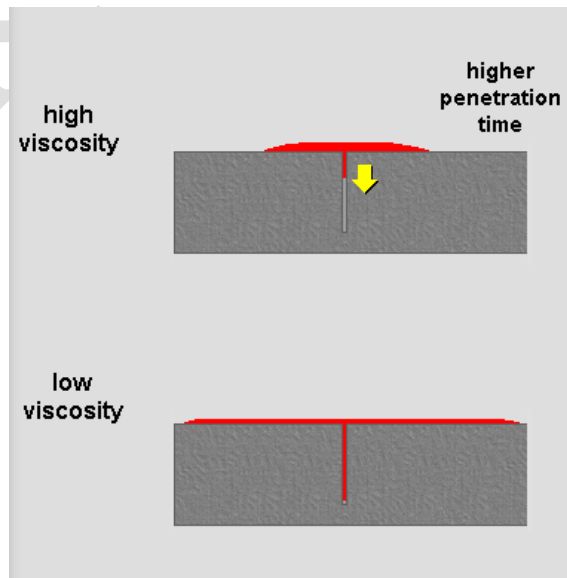
# چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ [www.Koureh.ir](http://www.Koureh.ir)



اثر گرانیوی یا ویسکوزیته مایع نافذ: هر چه مایع نافذ ویسکوزیته کمتری داشته باشد یا به اصطلاح روان تر باشد راحت تر وزودتر در ترک نفوذ می کند

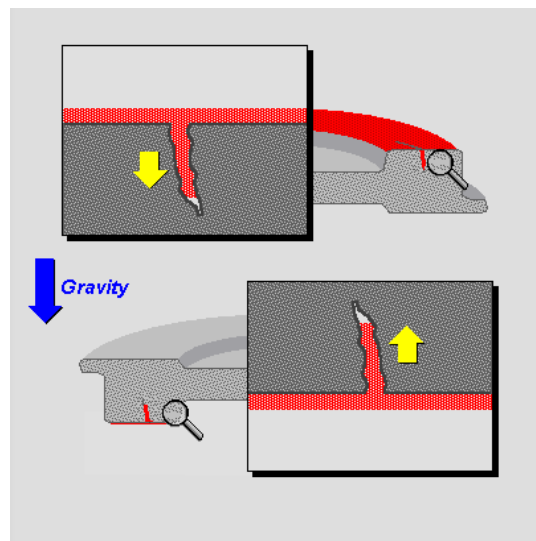




## چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ www.Koureh.ir



خاصیت موئینگی مایعات نافذ:

### تفسیر مشاهدات

- ناپیوستگی‌های مورد ارزیابی به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند:
  ۱. نشانه‌های خطی یا Linear (طول سه برابر عرض)
  ۲. نشانه‌های گرد یا Round (طول کمتر از سه برابر عرض)
  ۳. نشانه‌های پراکنده در قطعه
  ۴. گاهی ممکن است نشانه‌های نامربوط Non relevant نیز بر روی سطح قطعه نمایان شود.
- متداول‌ترین نقص قابل مشاهده با این روش ترک سطحی است.
- در تفسیر علائم ناشی از ترک عرض Bled out معیاری از عمق ترک است.
- در یک ترک بسیار عمیق Bled out حتی پس از تمیزکاری و آشکارسازی مجدد نیز ظاهر می‌شود.
- تخلخل سطحی، اکسیدهای فلزی، سرباره و نفوذ و ذوب ناقص نیز در صورتی که در سطح باشند، با این روش بازرسی تشخیص داده می‌شوند.
- در برخی موارد نشانه‌های نادرست False Indication نیز بر روی سطح قطعه ایجاد می‌شود:
  ۱. از روی دست اپراتور به سطح انتقال یابد.
  ۲. در اثر آلودگی Developer ایجاد شود.
  ۳. Bled out از یک قطعه بیرون آمده و به قطعه دیگر منتقل می‌شود.
  ۴. به وسیله محلی که پس از غوطه‌وری قطعات روی آن چیده می‌شوند، به قطعه منتقل شود.





## چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ [www.Koureh.ir](http://www.Koureh.ir)

۵. در اثر شستشوی نامناسب قطعات ایجاد شود.

### شرحی کلی بر روش تست مایعات نافذ و نتایج آن:

در روش مایعات نافذ پس از پاک کردن سطح از چربیها برای نفوذ مواد در داخل ترک اقدام به پاشش مواد نفوذ کننده بر سطح مورد نظر که برای تست می باشد، می کنیم.

مدت زمان میزان اسپری را طوری تنظیم می کنیم تا مواد فرصت نفوذ در ترک را پیدا نمایند. پس از انجام این عمل به مدت ۱۰ الی ۱۵ دقیقه صبر می کنیم تا مواد بهتر به داخل ترک نفوذ نماید. بعد از گذشت مدت زمان اشاره شده اقدام به پاک کردن مواد از سطح بدنه می نماییم و سپس با استفاده از روشهای ظهور که از قبل ایجاد کرده ایم در محلهایی که مواد بیشتر نفوذ کرده است، روشن تر دیده می شود. پی به وجود شیار یا ترک در سطح بدنه می بریم در ضمن تجربیات شخصی جهت تشخیص ترک یا شیار به ما کمک می کند. قابل ذکر می باشد که شیار ایراد به حساب نمی آید ولی ترک ایراد به حساب می آید. در شیار دو طرف لبه ها گرد می باشد ولی ترک به صورت رودخانه ای رشد می کند و مسیر رشد خود را طوری تنظیم می کند که با کمترین مقاومت روبرو شود. در مواد سخت ترک سریعتر و خط آن مستقیم تر و در مواد نرم حرکت ترک به صورت زیگزاگی می باشد.

### (۳) اولتراسونیک تست UT

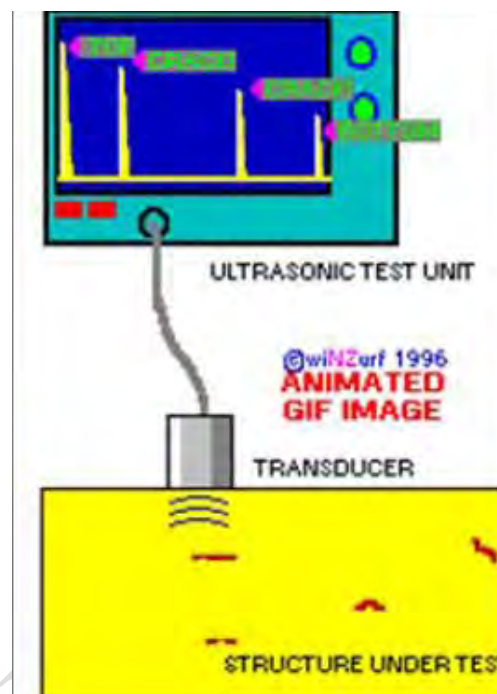
آزمون‌های فرا صوتی کاربرد بسیار گسترده‌ای در تعیین نقص‌های درونی مواد دارند. از این روش می توان برای تعیین ترک‌های زیر سطحی نیز استفاده کرد. مبانی این آزمون از ایجاد موج‌های صوتی توسط یک ضربان سنج استخراج شده است.



## چهارمین کنفرانس مشعل و کوره های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ [www.Koureh.ir](http://www.Koureh.ir)



این امواج نوعی از موجهای مکانیکی هستند که می توانند از همه محیطهای مادی عبور کنند. موجهای صوتی با بسامدهای بیشتر از گستره شنوایی به عنوان امواج فراصوتی می نامند. که گستره بسامدی امواج بکار رفته در بازرسی های غیرمخرب مواد در حدود ۰,۵ MHz تا ۲۰ MHz است در حالی که فرکانسهای صوتی که به وسیله گوش انسان قابل درک می باشد از ۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلو هرتز می باشد.

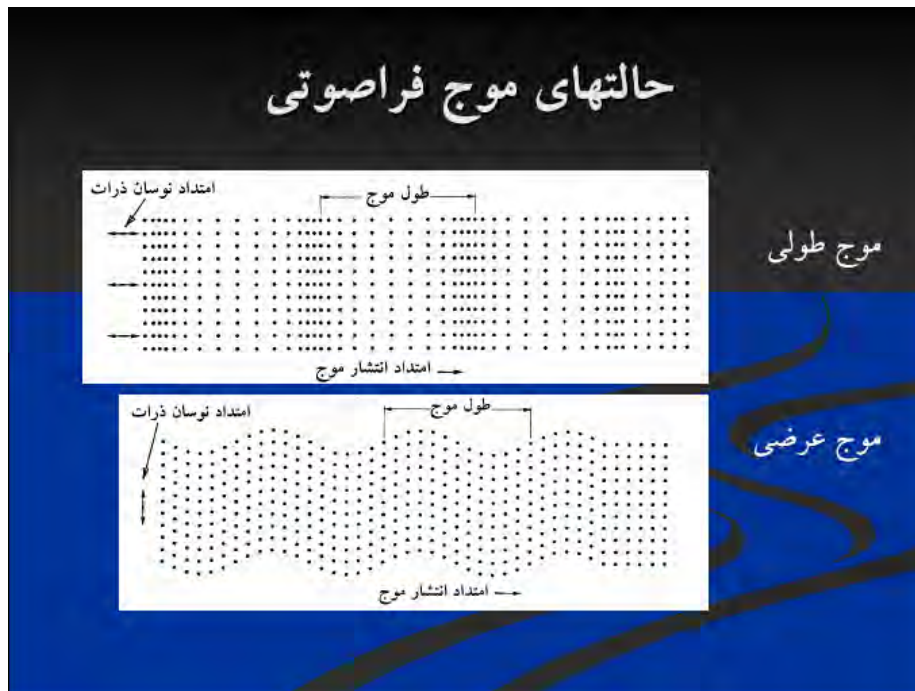




# چهارمین کنفرانس مشعل و کوره های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ [www.Koureh.ir](http://www.Koureh.ir)



در حالت کلی هر چه محیط مادی فشرده تر باشد، سرعت حرکت موج صوتی در آن بیشتر است. بنابراین سرعت حرکت امواج صوتی در جامدات بیشتر از سیالات می باشد.





## چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ [www.Koureh.ir](http://www.Koureh.ir)

### ساختمان پروب:

چندین نوع پروب فرستنده وجود دارد، اما همه انواع آنها دارای کریستالی است که مستقیماً یا از طریق پوشش محافظ با ماده مورد آزمایش در تماس است. پروب‌ها ممکن است قائم یا زاویه‌دار باشند.

## انواع پروب‌های فراصوتی



### پارمترهای مهم در آزمون فراصوتی

- شرایط سطح مورد بازرسی
- علائم
- اپراتورها
- ضبط
- علائم کاذب
- حساسیت و تنظیم



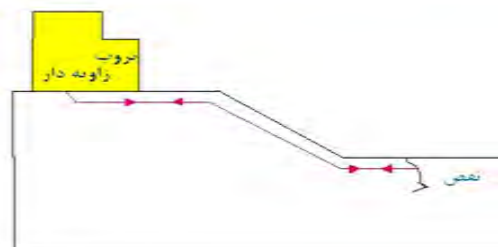
## چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ www.Koureh.ir

تشخیص انواع نقص‌ها با استفاده از آزمون فرا صوت:

### ترک بابی با استفاده از بروب موج سطحی



به وسیله روش‌های فراصوتی نه تنها محل دقیق نقص‌های داخلی را می‌توان تعیین کرد، بلکه در بسیاری موارد، امکان تشخیص نوع نقص نیز وجود دارد. به این معنی که آشکارسازی، تشخیص و تعیین اندازه نقص‌های سطحی و زیرسطحی در گستره گسترده‌ای در مواد فلزی به شرط اینکه دسترسی به یک سطح برای امکان بازتاب وجود داشته باشد، امکان پذیر می‌باشد. همچنین اندازه‌گیری‌های دقیق ضخامت رامی‌توان با استفاده از دستگاه‌های فراصوتی انجام داد. امروزه این دستگاه‌ها جمع و جور و سبک هستند و از طریق جریان شبکه استاندارد با باترهای داخل خودشان تغذیه می‌شوند.

**روش عمق و جهت رشد ترک را:** در این روش بعد از پیدا کردن ترک به روش‌های بالا بر روی سطح بدنه، و استفاده از این تشخیص می‌دهیم. لازم به ذکر است این روش قادر به تشخیص ترک‌های مویی بر روی سطح بدنه و کم عمق نیست. پس از پیدا کردن عمق ترک متوجه می‌شویم آیا ترک راه به در شده و یا هنوز فرصت راه به در شدن پیدا نکرده است. بدین معنی که ترک ضخامت ورق جداره کوره را طی کرده است. شکل ترک در فلزات کربن استیل به این صورت است که در وسط ترک عمیق تر و هر چه به لبه‌های رشد ترک می‌رسیم عمق کمتر می‌شود.

### روش‌های جلوگیری از رشد ترک و محو کردن آن

#### سوراخکاری

در مواردی که ترک بر روی سطح تشخیص داده شده است و با کمبود زمان مواجه هستیم روش اضطراری با توجه به کمبود زمان توقف کوره اقدام به سوراخ کاری در دو طرف رشد ترک می‌نماییم

#### نحوه سوراخکاری بر روی بدنه کوره

ابتدا با مته مناسب اقدام به سوراخکاری ۲-۳ میلیمتر نموده، سپس مجدداً تست ترک‌های سطحی را در داخل سوراخ‌های ایجاد شده انجام می‌دهیم تا جهت رشد ترک در عمق پوسته را پیدا نمائیم و مته را در جهت رشد ترک در عمق تنظیم می‌کنیم. اقدام به سوراخکاری در جهت رشد ترک می‌نماییم این سوراخ ایجاد شده باعث می‌شود که تمرکز تنش در دو طرف لبه ترک به



## چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ [www.Koureh.ir](http://www.Koureh.ir)

سوراخ منتقل شده و از بین بروید و باعث کنترل رشد ترک می‌شویم تا در بازه زمانی مناسب که بهره‌بردار کوره را در اختیار واحد تعمیرات قرار می‌دهد نسبت به تعمیر و محو کردن ترک از سطح بدنه اقدام نمائیم.

### روش محو ترک و جوشکاری ترمیمی

در صورتی که وقت تعمیراتی مناسب در نظر گرفته شده باشد به نحوی که به دو سطح ورق‌های کوره دسترسی داشته باشیم یعنی سمت داخلی آجر نسوز و سیمان نسوز برداشته شده باشد بر اساس استانداردهای جوشکاری و با توجه به ضخامت ورق به صورت یکس اقدام به جوشکاری در دو طرف می‌نمائیم. لازم به ذکر است که ابتدا ترک و اطراف ترک را به طریق گوج و سنگ زنی محو کرده و دو سمت را به صورت وی خالی می‌نمائیم. سپس از دو طرف شروع به جوشکاری کرده و جوش را پر می‌نمائیم. نکاتی که در این کار لازم است مد نظر قرار گیرد به شرح ذیل می‌باشد:

با توجه به ضخامت و جنس ورق و رجوع به استانداردهای جوشکاری نسبت به پیشگرم کردن اقدام می‌نمائیم و بعد از عملیات جوشکاری نسبت به رفع تنش با دستگاه تنش زدایی اقدام می‌نمائیم. در صورتی که تنش زدایی از محل جوش صورت نگیرد با توجه به اینکه محل جوشکاری سریع سرد می‌شود باعث تمرکز تنش و در نتیجه کم شدن مقاومت فلز می‌گردد. البته دستور العمل مربوط به رفع تنش توسط واحد بازرسی آماده می‌شود که در این دستور العمل با توجه به ضخامت ورق ضروری یا غیر ضروری بودن این کار اعلام می‌گردد. اگر این عمل را انجام ندهیم و از یک طرف شروع به جوشکاری نمائیم به احتمال زیاد باعث ایجاد ترک و افزایش آن در سطح می‌شود. (در رابطه با ترکهای عمیق که حداقل ۲/۳ ورق را از لحاظ عمق طی کرده باشد)

### METAL LOCK روش متال لاک:

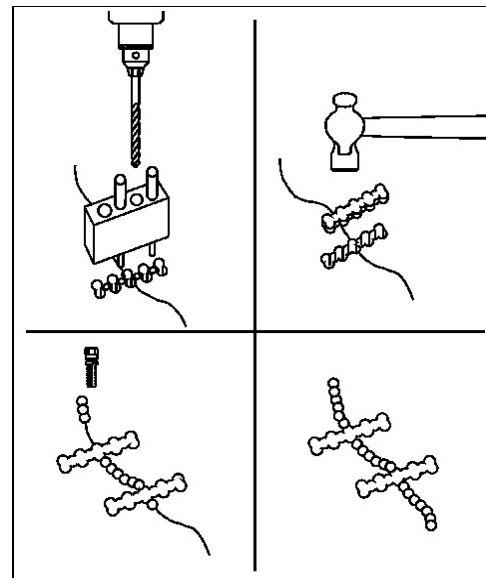
در مواردی که نتوان اقدام به جوشکاری کرده از روش متالاک استفاده می‌نمائیم (روش متالاک زمانی می‌باشد که جوشکاری غیر ممکن باشد و یا باعث رشد ترک گردد). دوخت فلزات با متالاک که در بعضی از نقاط جهان به این نام شناخته می‌شود یک عبارت عمومی می‌باشد که روشهای تعمیر ترک در فلزات بدون جوشکاری را توصیف می‌کند



## چهارمین کنفرانس مشعل و کوره های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ [www.Koureh.ir](http://www.Koureh.ir)



چرا دوخت فلز یا METAL LOCK:

در مرحله اول به این دلیل که با روش جوشکاری با مشکلات متعددی روبرو می شویم در مرحله دوم تمام روشهای جوشکاری برقی کمتر مورد رضایت بوده و در خیلی موارد باعث رشد بیشتر ترک شده است. بخش اصلی فرآیند ها که جایگزین ترک می گردد سوزن دوخت می باشد (metal sticking) بعضی از روشهای دوخت که قبلا متداول بوده و هنوز مورد استفاده هستند شامل پیچ ومهره، شمع مخروطی، میله های رشته ای، پیچ، رول پلاک، و هر چیز دیگری که می تواند با پر کردن، چکش ویا پیچ برای پر کردن فضای ترک و متوقف نمودن رشد ترک بکاربرد.

عنصر دیگر از دوخت فلز metal lock، قفل (lock) می باشد. که اگرچه در کارهای کوچک هم قابل کاربرد می باشد ولی در درجه اول در تعمیرات صنعتی استفاده می گردد.

این تکنولوژی نیز در طول سالها تکامل یافته ودر بسیاری از اشکال، اندازه ها و با مقاومتهای بالا ساخته شده است قفل (lock) نیاز به نقاط مسطح برای نصب دارد، همچنین باید عمود بر سطح ترک اعمال گردد تا باعث رشد ترک نگردد.

مزایای این روش به شرح ذیل می باشد.

- ۱- سرعت بالا
- ۲- استفاده آسان
- ۳- سطوح قابل پرداخت وبدون اثر



## چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ [www.Koureh.ir](http://www.Koureh.ir)

۴- سیل بندی خوب در فشارهای خیلی بالا

۵- مقاومت بالا

۶- قابلیت تعمیرشکل‌های پیچیده

### نتیجه گیری

در این مقاله سعی بر این بوده تا رشد ترک و روش‌های پیدا کردن آن با روش تست های غیر مخرب در سطح کوره های صنعتی ، به طوری که قابل درک برای تعمیرکاران محترم و کسانی که مایل به آموزش آن باشند به طور مختصر و مفید بیان کند. همانطور که اشاره شد برای تعمیرات ترک‌های ایجاد شده در بدنه کوره راهکار کوتاه مدت و بلند مدت در نظر گرفته می شود. که در روش کوتاه مدت و اضطراری با توجه به کمبود زمان توقف کوره اقدام به سوراخ کاری در دو طرف رشد ترک می گردد. در روش بلند مدت با توجه به اینکه برنامه تعمیراتی جهت رفع اساسی ترک در جریان می باشد و کوره از طرف واحد بهره بردار در اختیار واحد تعمیرات قرار می گیرد و برنامه کاری مشخص می باشد، با توجه به یکی از روش‌های تست‌های غیر مخرب مثل مایعات نافذ یا تست فراصوتی عیب را پیدا کرده و سپس با استفاده از دستور العمل های جوشکاری و در صورتی که این روش امکان پذیر نباشد، از روش متالاک برای تعمیر و برطرف کردن عیب اقدام می گردد.