

مکانیک شکست

بررسی شکست از دیدگاه ریز ساختاری

پیوند بین اتمها، تقارن ساختاری، نوع ساختار و نظم اتمی

راههای افزایش چقرمگی و استحکام

تردی آبی

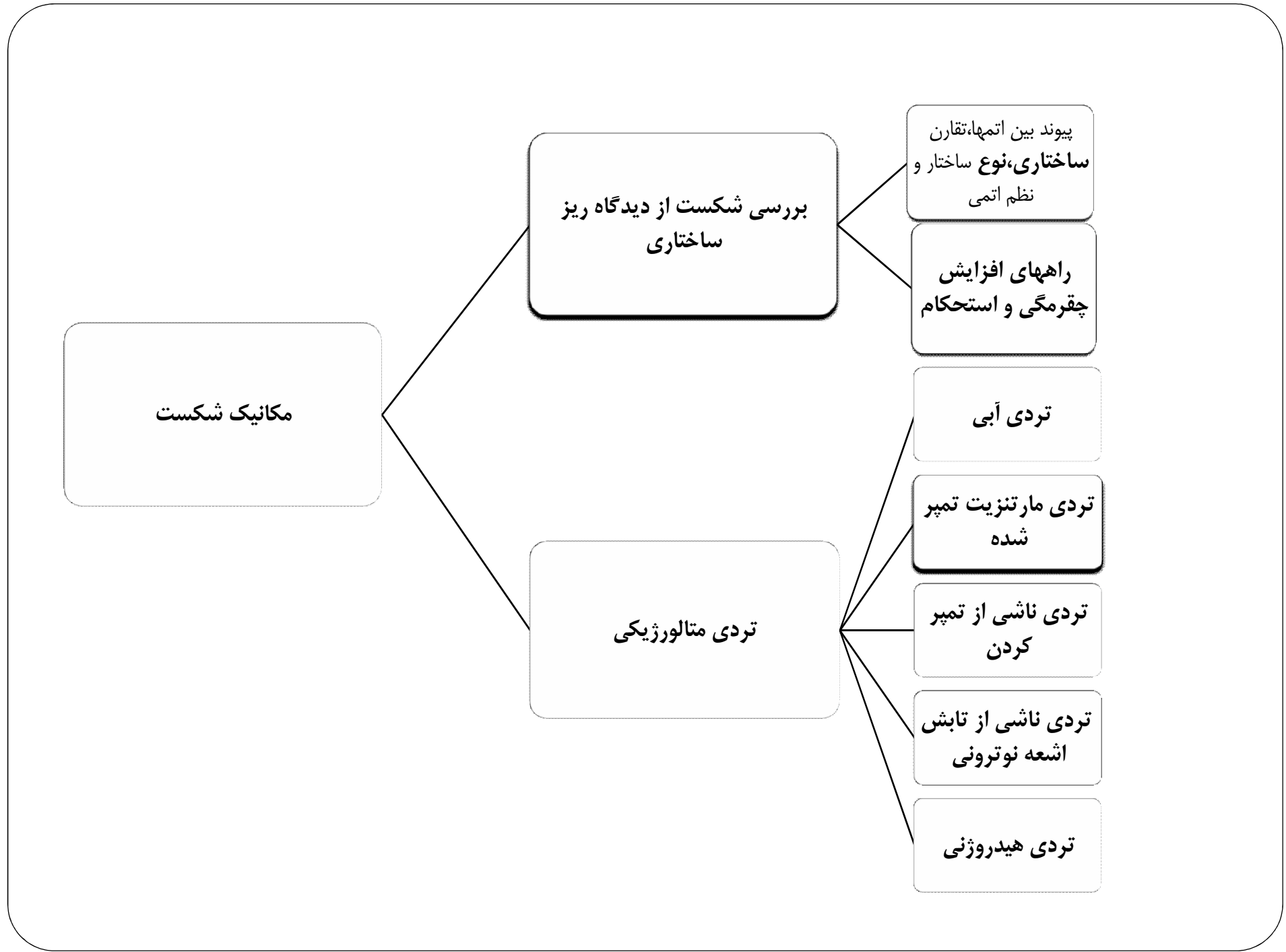
تردی مارتنزیت تمپر شده

تردی ناشی از تمپر کردن

تردی ناشی از تابش اشعه نوترونی

تردی هیدروژنی

تردی متالورژیکی



بررسی شکست از دیدگاه ریز ساختاری

نوع شکست به پیوند بین الکترونها، تقارن ساختاری، نوع ساختار و نظم موجود بستگی دارد.

عوامل فوق را به صورت زیر می توان بررسی کرد:

1- نوع پیوند الکترونها: هر چه از پیوندهای فلزی به سمت پیوندهای کوالانسی و یونی حرکت کنیم نوع شکست تردتر، شکل پذیری کاهش می یابد و سطوح شکست صاف تر می شوند.

2- نظم اتمی: در ساختارهای مواد با افزایش نظم اتمی شکل پذیری کاهش می یابد. هر چه ساختار بی نظم تر باشد مانند محلولهای جامد فلزی شکل پذیری آنها بیشتر خواهد بود

3- تقارن ساختاری: هر چه ساختار دارای تقارن بیشتر باشد، شکل پذیری آن هم بیشتر خواهد بود. در ساختارها با پیوند فلزی موادی هستند که دانسیته و تقارن بیشتری دارند.

راههای افزایش چقرمگی

1- روش ذاتی:

(الف) نوع ساختار: در ساختار FCC به علت سیستم های لغزش همزمان بالا و تنش بحرانی پایین چقرمگی بالاست

(ب) ذرات فاز دوم: هر چه عناصر فاز دوم توزیع یکنواخت و اندازه آنها کوچکتر باشد چقرمگی بیشتر است

2- روش خارجی: در این روشها هدف افزایش مسیرو زمان رشد ترک می باشد، هر چه مسیر طولانی تر باشد انرژی مورد نیاز برای رشد ترک بیشتر خواهد بود

(الف) استفاده از ذرات فاز دوم (ب) ایجاد ریز ترکها

2- استفاده از تغییرات فازی: اگر این فازها دارای تنشهای فشاری باشند باعث می شوند که مقداری از تنشهای مورد نیاز برای رشد ترک کمتر شود و چقرمگی افزایش یابد در

ساختارهای فلزی این حالت در اثر تشکیل فاز مارتنزیت بوجود می آید

3- حالت تنش: در صورتی که ساختار حالت تنش صفحه ای داشته باشد به علت وجود اندازه منطقه تغییر فرم پلاستیک بیشتر در نوک ترک از رشد ترک جلوگیری می شود

بنابراین زمان وجود ترک در داخل ساختار طولانی شده و چقرمگی افزایش می یابد. برای تغییر حالت تنش از ساختارهای لایه ای استفاده می کنند ساختار لایه ای که موجب

نا همسانگردی یا غیر ایزوتروپی شدن خواص ماده می شود نیز می تواند موجب افزایش چقرمگی گردد این کار با سه روش:

الف) توقف ترک، ب) توزیع کردن ترک و ج) کم کردن عرض نمونه، انجام می گیرد.

الف) توقف ترک: با توجه به این نکته که در حالت سه بعدی تنش کششی در نوک ترک با افزایش ضخامت نمونه شدت می یابد، این حالت تنشی در شرایط کرنش صفحه ای

حداکثر مقدار خود را دارد و باعث به حداقل رساندن تافنس شکست ماده می گردد، در ورقهای نازک به علت کاهش شدت حالت سه بعدی تنش تافنس شکست افزایش می

یابد بنابراین با کاهش تنشها در راستای x و یا z می توان حالت سه بعدی تنش در نوک ترک را کاهش داد.

یکی از راههای کاهش تنش در راستای x ، ایجاد یک سطح آزاد داخلی عمود بر جهت x و جهت پیشرفت ترک میباشد.

شکل روبرو ایجاد چنین لایه هایی با فصل مشترکهای ضعیف را در جهت عمود به جهت رشد ترک نشان می دهد

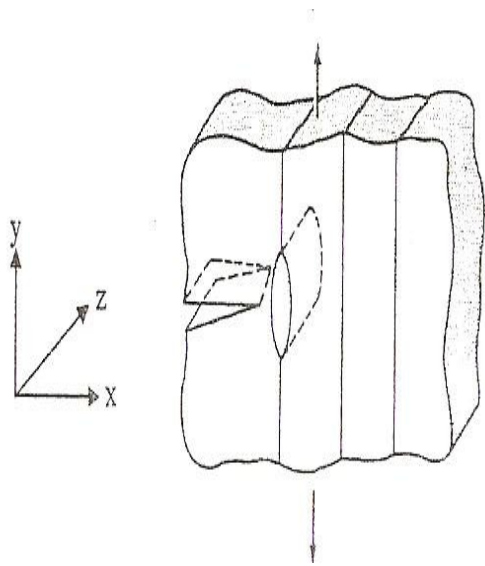
تنش در راستای x در جهت رشد ترک و عمود به جهت تنش اعمالی می باشد. چون روی یک سطح آزاد تنش

عمودی نمی تواند وجود داشته باشد بنابراین روی سطوح آزاد این لایه ها مولفه ی تنش در راستای x به صفر

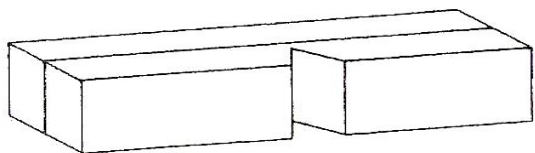
کاهش پیدا خواهد کرد. علاوه بر کاهش حالت تنش سه محوری در نوک ترک با ایجاد این لایه ها ترکها با

برخورد به سطوح آزاد لایه ها کورمی شوند. این دو شرایط باعث دشواری نفوذ ترک به لایه ی مجاور و در

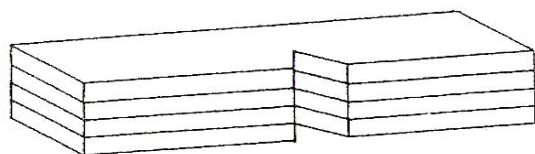
نتیجه افزایش تافنس می گردد. این مکانیزم موجب افزایش تافنس با ایجاد ساختار لایه ای می شود.



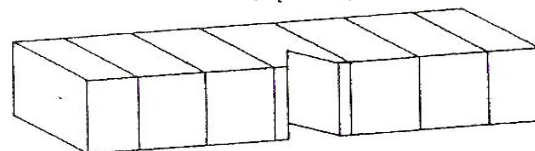
(ب) توزیع ترک: حالت سه بعدی تنش در جلوی نوک ترک را می توان با ایجاد ساختار لایه ای به طوری که لایه ها در جهت عمود به ضخامت قرار گیرند نیز کاهش داد. در این روش، مولفه ی تنش در راستای z در هر لایه به صفر کاهش داده می شود زیرا ضخامت موثر نمونه کاهش پیدا کرده است در نتیجه رفتار کرنش صفحه ای نمونه ضخیم به رفتار تعداد زیادی نمونه های نازک با حالت تنش صفحه ای تبدیل می شود. به این دلیل میزان تغییر به وجود آمده در دمای انتقال تردی-نرمی به تعداد لایه های نازک در نمونه بستگی پیدا می کند هر چه تعداد این صفحه ها بیشتر باشد ضخامت آنها کمتر است و بنابراین تمایل به نشان دادن حالت تنش صفحه ای بیشتر می شود چنین ساختار لایه ای را توزیع کننده ی ترک می گویند.



(الف) توقف ترک



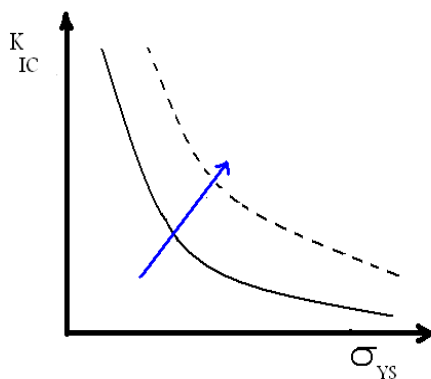
(ب) توزیع ترک



(ج) کم کردن عرض نمونه

(ج) کم کردن عرض نمونه: این روش به نام کم کردن عرض نمونه معروف است و بر خلاف دو روش لایه ای کردن قبلی افزایش چقرمگی قابل ملاحظه اب بوجود نمی آورد.

راههای افزایش چقرمگی و استحکام



در طراحی مود هدف داشتن چقرمگی و استحکام بالا می باشد اما می دانیم که تافنس شکست و استحکام رابطه ی معکوس با هم دارند مانند منحنی مقابل.

برای اینکه منحنی در جهت نشان داده شده حرکت کند تا چقرمگی و استحکام هر دو افزایش یابند باید ساختار و ترکیب شیمیایی را طوری تغییر داد که منحنی در جهت نشان داده شده شیفت پیدا کند.

برای این منظور می توان عملیات زیر را انجام داد:

1- تغییر ترکیب شیمیایی

2- بهینه سازی ریز ساختار و حذف ناخالصی ها

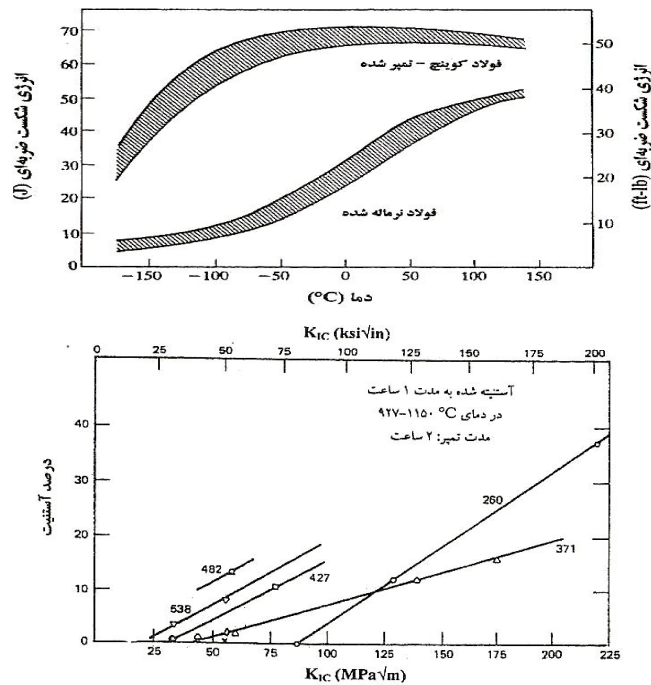
3- کاهش اندازه ی دانه

1- تغییر ترکیب شیمیایی به کمک عملیات ذوب : عناصر موجود در آلیاژها به منظورهای مختلف استفاده می شود. اگر بتوان در یک ساختار غلظت Ni را کنترل کرد. میتوان

به کمک فاز آستنیت چقرمگی را افزایش داد همچنین با تمایل آستنیت به تبدیل شدن به مارتنزیت سختی پذیری را افزایش می دهد در نتیجه استحکام را بالا می برد. همچنین با استفاده از ذوب مجدد در خلای و قوس الکتریکی می توان انحلال اتمی عناصری مثل N،H،O،P، S را تا حد قابل توجهی در آلیاژ کاهش داد.

2-بهینه سازی ریز ساختار :

الف) آلیاژهای آهنی : در این آلیاژها نمی توان یک عنصر پیدا کرد که استحکام و تافنس شکست را به طور همزمان افزایش داد. به این منظور از وجود چند عنصر بطور همزمان استفاده می شود. به عنوان مثال عناصری مانند Ti ، Cr که کاربردزا هستند و در اثر تشکیل ذرات فاز دوم کاربیدی همواره استحکام را افزایش می دهند باید دقت کرد که مقدار این عناصر باید کنترل شوند تا اندازه ی ذرات فاز دوم از یک حدی بیشتر نشوند



که در این صورت جوانه زنی و رشد ترک در اطراف این ذرات صورت می گیرد که باعث کاهش چقرمگی می شود پس هر چه اندازه ی ذرات کوچکتر و توزیع آنها یکنواخت باشد می توان به چقرمگی بالاتری دست یافت. استفاده از عنصر Ni باعث می شود فاز آستنیت پایدار شود که این فاز چقرمگی بالاتری دارد همچنین به کمک این عنصر تمایل به سختی پذیری افزایش می یابد که در این ساختارها مارتنزیت تشکیل می شود به علت افزایش حجم در اثر تشکیل آن فاز تشنه های باقیمانده افزایش می یابند و میتوان تافنس بالایی در قطعه ایجاد کرد همچنین با کوچک کردن ریز ساختار مانند مارتنزیت تمپر شده میتوان به چقرمگی بالایی دست یافت .

ب) آلیاژهای غیر آهنی : با ایجاد ساختارهای مختلف میتوان به تافنس شکست بالایی دست یافت. مانند آلیاژهای پایه Ni، که در این ساختار به علت وجود فازبتا که دارای ساختار BCC، است چقرمگی شکست بالاتری نسبت به ساختارهای آلفا+بتا که دارای ساختار HCP هستند خواهد داشت.

ج) سرامیکها : به علت وجود پیوند های یونی و کوالانسی و همچنین سیستم لغزش کمتر و نیز به علت دارا بودن تقارن بلوری پایین و نظم موجود در این ساختارها دارای شکل پذیری نبوده. در این ساختارها برای افزایش تافنس شکست از ذرات فاز دوم استفاده می شود که این ذرات یک فاز ناپایدار بوده و در اثر تبدیل شدن به فاز پایدار با افزایش حجم همراه بوده و تافنس شکست را افزایش می دهد همچنین این ذرات می توانند جهت رشد ترک را تغییر دهند و تافنس شکست را افزایش دهد . برای افزایش تافنس سرامیکها از موادی مانند آلومینا استفاده می شود.

3- کاهش اندازه دانه : در اثر کاهش اندازه دانه طبق رابطه ی هال پیچ استحکام افزایش می یابد. از طرف دیگر در اثر کاهش اندازه دانه مرز دانه افزایش می یابد که این مرز دانه به عنوان یک مانع در برابر حرکت نابجایی عمل می کند. و هر عاملی که حرکت نابجایی را کند کند باعث افزایش استحکام می شود از طرفی دیگر در اثر افزایش مرز دانه زمانی که ترک به مرز دانه می رسد جهت رشد ترک تغییر می کند که در اثر طولانی شدن مسیر جهت رشد ترک همواره تافنس افزایش می یابد

2- تردی متالورژیکی

تردی متالورژیکی یعنی کاهش شدید چقرمگی شکست در اثر تغییرات ریز ساختاری نامطلوب ناشی از عملیات حرارتی نامناسب یا شرایط محیطی.

انواع تردی متالورژیکی :

1- تردی آبی

2- تردی مارتنزیت تمپر شده

3- تردی ناشی از تمپر کردن

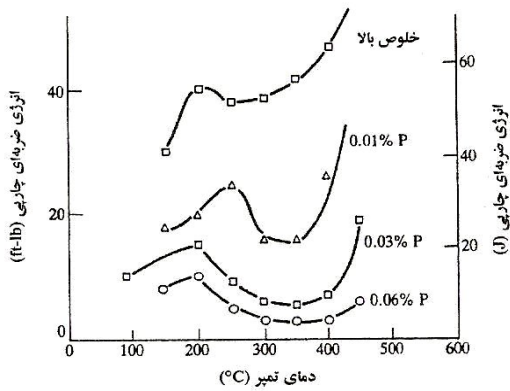
4- تردی ناشی از تابش اشعه نوترونی

5- تردی هیدروژنی

1- تردی آبی : فولادهای کربنی که در محدوده ی 230-370 سانتی گراد گرم می شوند دچار کاهش داکتیلیتی می گردند. این پدیده ناشی از برخورد نابجایی های متحرک با اتمهای حل شونده مانند کربن و نیتروژن و با اثر Portvin-Lechatelior ربط دارد. وقتی دما طوری باشد که سرعت حرکت اتمهای بین نشین از سرعت حرکت نابجایی ها بیشتر شود، نابجایی ها توسط اتمهای بین نشین بطور مداوم گرفتار می گردند. این موجب سرعت کار سختی بیشتر و استحکام بالا و کاهش داکتیلیتی می شود با افزایش سرعت کرنش، سرعت حرکت نابجایی ها زیاد می شود بنابراین سرعت نفوذ نیز باید با افزایش دما افزایش داده شود. چون فولادها در این محدوده ی دمایی با اکسیدی به رنگ آبی پوشیده میشوند به این پدیده تردی آبی می گویند .

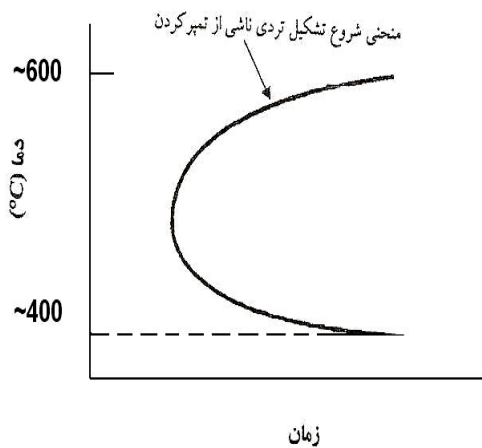
2- تردی در محدوده ی ۲۵۰-۳۵۰ سانتی گراد : مشخص شده است که فولادهای مارتنزیتی اگر

در دمای حدود ۲۵۰-۳۵۰ سانتی گراد تمپر شوند ترد میگردند. این تردی به نام تردی مارتنزیت تمپر شده یا تردی ۳۵۰ درجه سانتی گراد معروف است. مشاهده می شود که در محدوده ی دمایی ۲۰۰-۴۲۵ درجه سانتی گراد انرژی ذره کاهش دارد ولی بیشترین تاثیر در محدوده ی دمایی ۳۰۰-۳۵۰ درجه سانتی گراد اتفاق می افتد. این افت خواص ماده به رسوب فیلمهای سمنتیت در مجاورت تیغه های مارتنزیت که در مرز دانه های آستنیتی اولیه قرار دارند مربوط می شود فصل مشترک تیغه های مارتنزیت و سمنتیت به عنوان مسیر ترک عمل می کنند. همچنین جدایش عناصر نظیر: فسفر، گوگرد، نیتروژن، آنتیموان و قلع در مرز دانه ها نیز به عنوان دلایل این تردی عنوان شده اند. همانطور که در شکل دیده می شود. کاهش در صد فسفر موجب بالا رفتن کلی منحنی انرژی ضربه ای و کاهش تمایل به تردی مارتنزیت تمپر شده می شود. ای دلیلی است مبنی بر اینکه فسفر نقش مهمی در این نوع تردی ایفا می کند بنابراین این نوع تردی به ترکیب شیمیایی آلیاژ بستگی دارد



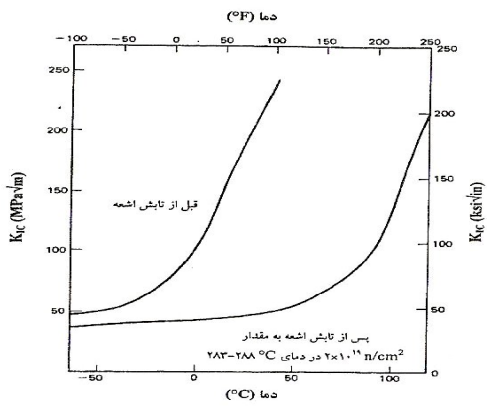
3- تردی ناشی از باز پخت یا تمپر کردن : این نوع تردی (TE) در فولاد وقتی که به آرامی از دمای

تمپر در محدوده ۵۰۰-۶۰۰ درجه سانتی گراد سرد می شود یا در آن محدوده ی دمایی نگهداری می شود اتفاق می افتد. نتیجه ی اصلی TE افزایش دمای انتقال نرمی به تردی و کاهش تافنس است. این تردی مربوط به شکست مرز دانه ای در امتداد مرزهای آستنیتی قبلی است و از فصل مشترک فریت - سمنتیت شروع می شود. علت آن حضور برخی رسوبات در امتداد مرز دانه ها می باشد. گر چه نفوذ عناصری مانند فسفر و گوگرد و جدایش آنه در مرز دانه و کاهش استحکام پیوستگی دلیل دیگری برای این نوع تردی عنوان شده است.



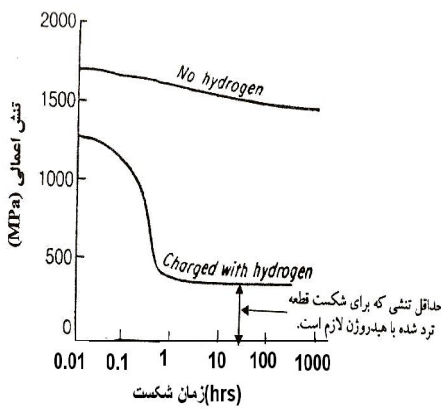
4- تردی ناشی از تابش اشعه ی نوترونی: خواص مکانیکی آلیاژها اگر در معرض تابش اشعه ی نوترونی قرار بگیرد

کاهش می یابد. برای مثال در شکل زیر کاهش شدیدی در چقرمگی شکست پس از تابش اشعه ی نوترونی مشاهده می شود بخصوص در محدوده ی دماهای پایین که انتظار می رود KIC بطور طبیعی با افزایش دمای آزمایش سریعا افزایش می یابد. برخورد نابجایی ها با تجمع عیوب مانند جای خالی اتمی که در اثر بمباران نوترونی بوجود می آید باعث افزایش استحکام تسلیم و دمای انتقال شکست نرم به ترد می شود. هر چه زمان نگهداری بیشتر باشد میزان این عیوب بیشتر و تاثیرش روی آلیاژ بیشتر است. هر چه دما کمتر شود میزان خسارت بیشتر است. علت تاثیر کمتر تابش در دماهای بالاتر، آنیل شدن آلیاژ و کمتر شدن میزان عیوب در آن دماها می باشد پس با آنیل کردن قطعات در معرض تابش قرار گرفته شده در دمای بالاتر از دمای کاری می توان عیوب بوجود آمده را حذف نمود.



5- تردی هیدروژنی: مکانیزم های مختلفی برای تردی هیدروژنی پیشنهاد شده است: ۱- تردی هیدروژنی در اثر فشار

اعمالی هیدروژن وقتی که به حفره ها و ترکهای ریز هجوم می آورد انجام می گیرد ۲- هیدروژن با عناصر شبکه واکنش می دهد و استحکام پیوستگی آنها را ضعیف می کند ۳- هیدروژن انرژی سطحی در نوک ترکی که تحت تنش کششی قرار دارد را کاهش می دهد.



بسته به میزان تنش اعمالی، مد بارگذاری شکست هیدروژنی ممکن است کلیواژ، مرز دانه ای و یا تی شکست نرم باشد -راه جلوگیری از تردی هیدروژنی، جلوگیری از نفوذ هیدروژن به آلیاژ و آنیل کردن آلیاژ در خلای می باشد. در شکل زیر حضور هیدروژن روی زمان شکست نمونه در تنش های مختلفی را نشان میدهد. این منحنی با آزمایش کشش روی نمونه های شیار دار، در حضور هیدروژن و بدون حضور هیدروژن، با تنش اعمالی بدست آمده است. در شکل حداقل تنشی که برای شکست قطعه ی ترد شده با هیدروژن لازم است نشان داده شده است. هر چه مقدار هیدروژن بیشتر باشد این حداقل تنش کمتر است. این تنش حتی ممکن است در طی استحاله ی فازی بوجود آید.