



**Namatek**  
True Education

[www.namatek.com](http://www.namatek.com)

# Creep in Metals

پدیده خزش

## فهرست مطالب

۱. پدیده خزش چیست؟
۲. علت اهمیت تست پدیده خزش چیست؟
۳. فرآیند تغییر شکل در پدیده خزش
۴. انواع پدیده خزش
۵. راه های جلوگیری از ایجاد پدیده خزش
۶. مقاومت در برابر پدیده خزش چیست؟

یکی از مشکلاتی که در زمان طراحی و ساخت یک تجهیز باید در نظر گرفته شود، پدیده خزش است که امکان اتفاق افتادن آن به مرور زمان برای آن وسیله وجود دارد. برای جلوگیری از این مشکل در طراحی تجهیزات و لوازم باید به خوبی با علت پیدایش آن، انواعی که دارد و مراحل تشکیل آن آشنا باشید. در این مقاله به بررسی پدیده خزش، مراحل پدیده خزش، انواع آن و راه های جلوگیری از آن می پردازیم. با ما همراه باشید.

## پدیده خزش چیست؟



پدیده خزش یک تغییر شکل مکانیکی آهسته است و زمانی رخ می دهد که یک ماده برای مدت زمانی طولانی در معرض سطوح بالایی از تنش قرار بگیرد. پدیده خزش به زمان وابسته است و تغییر شکل حاصل از این پدیده با سرعت نسبتاً پایینی رخ می دهد که سبب می شود، یک ماده در زیر نقطه تسلیم خود، شکست بخورد. این پدیده با فرورفتگی ها و جا به جایی های غیرلازمی که به صورت موضعی در ساختار دانه یک فلز یا در مرزهای دانه تشکیل می شوند، عمل می کند. سرعت پدیده خزش می تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی باشد، از جمله:

• دما

• خواص مواد

• سطوح تنش

موادی مانند فولاد تنها در دمایی که به نقطه ذوب آن ها نزدیک است، سطوح خزش قابل توجهی را تجربه می کنند. پدیده خزش در فولاد زمانی به عنوان یک مشکل در نظر گرفته می شود که دمای عملیاتی آن برای مدت طولانی به ۴۰ درصد دمای ذوب خود برسد. سطح سنگدانه در مخلوط می تواند به کاهش سرعت خزش کمک کند.

هنگامی که پدیده خزش رخ می دهد، معمولاً اجزا از کار می افتند. گسیختگی خزشی یک اصطلاح است و زمانی استفاده می شود که در یک ماده به دلیل بار خزشی، شکست ایجاد شود.

## نمونه هایی رایج از پدیده خزش

پدیده خزش معمولاً در برخی از موارد بیشتر از سایرین رخ می دهد. به عنوان مثال، قاب های خودرو بیشتر با در نظر گرفتن قدرت ضربه طراحی می شوند؛ زیرا بارهای ساکن آن ها کوچک و دمای عملیاتی معمولی پایینی دارند. از سوی دیگر، برخی از اجزای موتور خودرو که در معرض بارها و دماهای بالای ناشی از احتراق موتور قرار می گیرند، در صورت انتخاب مواد نامناسب، ممکن است این پدیده را تجربه کنند.

به طور معمول، برنامه هایی که دارای گرما و تنش بالایی هستند می توانند پدیده خزش را تجربه کنند؛ مانند:

• اجزای موتورهای صنعتی

• رشته های فلزی گرم شده



- اجزای موتور جت
- لوله های تحت فشار با دمای بالا

## چه مواقعی توجه به پدیده خزش مهم است؟

- زمان هایی که پدیده خزش باید مورد توجه قرار گیرد، عبارت اند از:
- زمانی که بارهای اعمال شده پیوسته هستند.
  - هنگامی که دمای عملیاتی و سطوح تنش به صورت مداوم یا برای دوره های متناوب طولانی از حد آستانه بیشتر هستند.
  - مواقعی که پدیده خزش نیازی به توجه و بررسی ندارد نیز به شرح زیر است:
  - بارهای اعمال شده، کوتاه مدت متناوب یا معکوس هستند.
  - دمای کار و تنش به آستانه آلیاژ نمی رسد.
  - دما و تنش عملیاتی فقط برای مدت کوتاهی از سطح آستانه فراتر می رود.

## خرابی های ناشی از پدیده خزش



خرابی هایی که از پدیده خزش ایجاد می شوند، خود را به صورت های زیر نشان می دهند:

- برآمدگی یا تاول
- شکستگی های موجود در لبه های ضخیم با شکل پذیری آشکار
- ترک های تنش طولی
- ضخامت های خارجی یا داخلی (در مقیاس اکسید که دمایی بالاتر از حد انتظار را نشان می دهند).
- حفره های ایجاد شده بین اجزا
- ترک در ریزساختارها

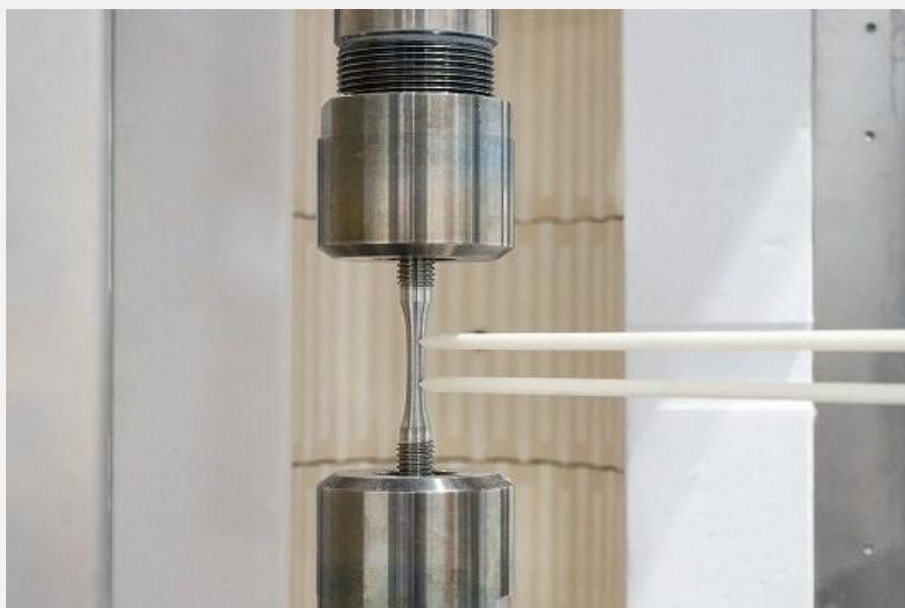
## چه نوع موادی در معرض پدیده خزش قرار می گیرند؟

رایج ترین موادی که پدیده خزش را تجربه می کنند، فلزات و پلیمرها هستند. با این حال، پدیده خزش به شدت به دمای عملیاتی و تنش اعمالی وابسته است. به این ترتیب، برخی از فلزات ممکن است در اغلب شرایط معمول هرگز دچار پدیده خزش نشوند. به عنوان مثال، فولادهای ساختاری تنها در دماهای بالاتر از شرایط عملیاتی معمول خزش می کنند. هنگامی که مواد به منظور تحمل تنش های طولانی مدت و در دماهای بالا مورد نیاز هستند، آلیاژهای که در برابر پدیده خزش فوق العاده مقاوم هستند، ترجیح داده می شوند؛ زیرا در برابر این خزش بسیار مقاوم هستند.

## پدیده خزش در چه دمایی مهم است؟

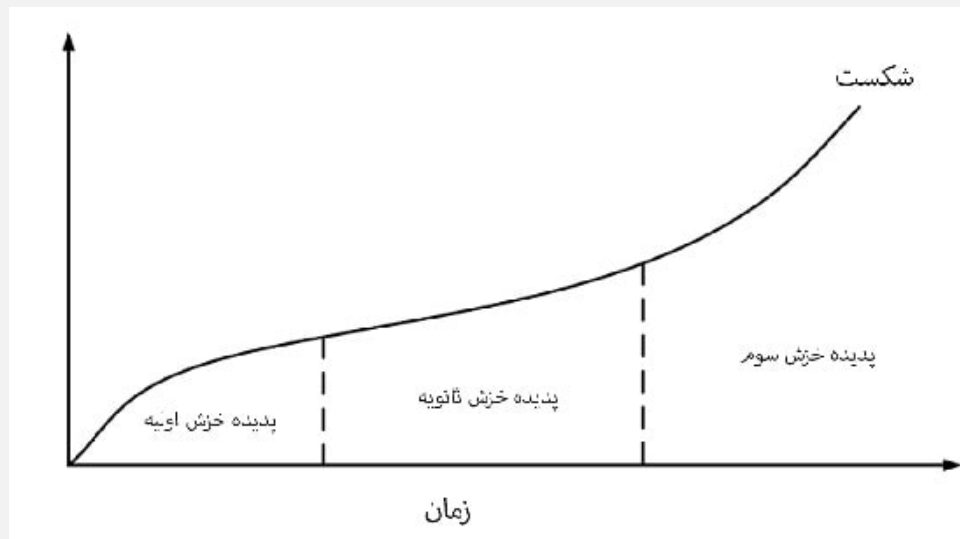
دمایی که در آن پدیده خزش مهم می شود به ماده بستگی دارد. فلزات معمولاً تنها در حدود ۴۰ درصد دمای ذوب خود پدیده خزش را تجربه می کنند. (این موضوع برای پلیمرها حتی ممکن است در دمای اتاق رخ دهد).

## علت اهمیت تست پدیده خزش چیست؟



آزمایش و تست پدیده خزش بسیار مهم است؛ زیرا به مهندسان اجازه می دهد تا قطعاتی طراحی کنند و در عین حال رابطه بین تنش، دما و سرعت خزش را درک کنند تا این اطمینان به دست آید که قطعه فلزی در بارهای کمتر از قدرت تسلیم خود در دماهای بالا خراب نمی شود. برای فلزات، تست خزش با قرار دادن نمونه در معرض بار کششی و دمای ثابت به منظور ترسیم فشار ایجاد شده به عنوان تابعی از زمان انجام می شود.

## فرآیند تغییر شکل در پدیده خزش



پدیده خزش و تغییر شکل یک شبه اتفاق نمی افتند و در یک دوره زمانی رخ می دهند و مراحل دارند. این فرآیند را می توان به صورت بصری به عنوان یک منحنی خزش ترسیم کرد. در طول پدیده خزش اتم ها با لغزش مرز دانه نسبت به یکدیگر حرکت می کنند و تغییر شکل آشکاری به جای نمی گذارند. پدیده خزش از مراحل که در ادامه به بررسی آن ها می پردازیم، پیروی می کنند.

### پدیده خزش اولیه

پدیده خزش اولیه که به آن خزش گذرا نیز گفته می شود، ابتدا در طول فرآیند تغییر شکل رخ می دهد. در این مرحله تغییر شکل به صورت الاستیک است. تغییر شکل الاستیک از کشش پیوند اتمی رخ می دهد و دائمی نیست؛ پس از تمام شدن این مرحله، تنش معکوس می شود تا زمانی که تنش در محدوده الاستیک ماده باشد. به دلیل سخت شدن فشار در ماده، سرعت خزش به آرامی و به عنوان تابعی از زمان کاهش می یابد.



## پدیده خزش ثانویه

پدیده خزش ثانویه را خزش حالت پایدار نیز می‌گویند و با نرخ خزش ثابت مشخص شده و توسط یک منحنی خطی مشخص می‌شود و طولانی‌ترین مدت در طول تغییر شکل خزش را دارد. در حالی که هنوز سطحی از سخت شدن فشار وجود دارد، با موادی که در مرحله بازیابی قرار می‌گیرند، متعادل می‌شوند که سبب نرم شدن فلزات و ایجاد تغییر شکل در آن‌ها می‌شود. این میزان خزش ثانویه از جمله مواردی است که توسط مهندسان و به عنوان پارامتری به منظور اطلاع رسانی طرح‌های خود استفاده می‌شود.

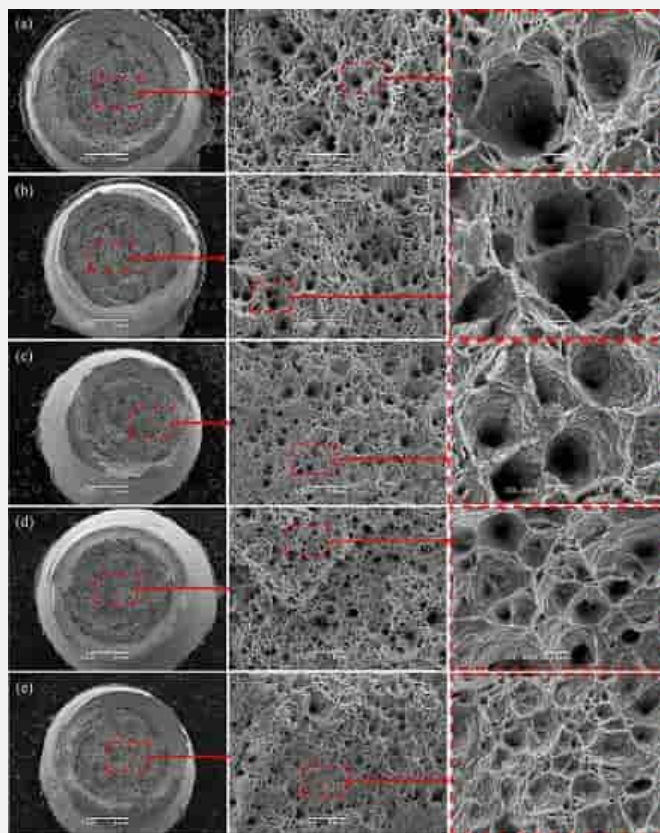
## پدیده خزش سوم

این مرحله آخرین بخش از پدیده خزش است و با ایجاد پارگی و شکستگی در مواد فلزی به اوج خود می‌رسد. مکانیسم شکست معمولاً به صورت ایجاد ترک‌های ریز، حفره‌های داخلی و جداسازی مرز دانه‌ها ظاهر می‌شود. خرابی‌های به وجود آمده در نهایت منجر به کاهش سطح مقطع مؤثر می‌شوند و در ادامه باعث افزایش تنش می‌شوند که سرعت شکست را افزایش خواهد داد. مرحله سوم خزش منجر به نرخ خزش تسریع شده‌ای خواهد بود که با افزایش گرادیان نشان داده می‌شود.

### 1) شکست پدیده خزش چیست؟

شکست پدیده خزش در مرحله سوم اتفاق می‌افتد و معمولاً یک مرحله طولانی از خزش حالت پایدار را دنبال می‌کند. شکست در مقایسه با فاز حالت پایدار نسبتاً سریع‌تر رخ داده و با تشکیل حفره‌های داخلی، جداسازی مرز دانه‌ها و ترک‌های ریز رخ می‌دهد.

## انواع پدیده خزش



انواع و مکانیزم های مختلفی وجود دارد که سبب ایجاد پدیده خزش و تغییر شکل در سطح اتم می شوند که در ادامه با آن ها آشنا خواهیم شد.

### خزش نابارو - شاه ماهی Nabarro - Herring (Creep)

خزش نابارو - شاه ماهی را می توان به صورت کلی در دسته خزش انتشار، طبقه بندی کرد. این مکانیزم خزش در درجه اول در تنش کم و دمای بالا رخ می دهد. این نوع خزش زمانی ایجاد می شود که اتم ها داخل شبکه کریستالی دانه به دلیل وجود جاهای خالی که با افزایش دما ایجاد می شوند، پخش می شوند.

این جاهای خالی در جایی تشکیل می شوند که مرز دانه در کشش باشد، یعنی در راستای تنش اعمالی. مرز دانه های عمود بر تنش اعمال شده، تحت فشار خواهند بود. هر چه اندازه دانه ای بزرگتر باشد، سرعت خزش کندتر خواهد شد.

## خزش دررفتگی (Dislocation Creep)

این نوع خزش به خزش قانون قدرت نیز معروف است و خزش دررفتگی مکانیزمی است که طی آن خزش به دلیل دررفتگی های اتمی رخ می دهند. نرخ فشار با حرکت جاهای خالی مشخص می شود که می تواند به صورت سرخوردن یا در رفتگی صعودی ظاهر شوند. سرخوردن هنگامی اتفاق می افتد که دررفتگی به موازات صفحه لغزش خود حرکت می کند و صعود زمانی رخ می دهد که دررفتگی های عمود، بر صفحه سرخوردن خود حرکت می کنند.

## خزش کوبل (Coble Creep)

خزش کوبل نوعی خزش انتشاری است. این مکانیزم خزش در درجه اول در دماهای پایین تر شکل می گیرد؛ زیرا به وجود آمدن جاهای خالی در مرزهای دانه آسان تر از خود دانه است. برخلاف خزش نابارو – شاه ماهی، خزش کوبل در جایی اتفاق می افتد که جاهای خالی از مرز دانه های عمود بر تنش اعمال شده به مرزهای دانه هایی که موازی با تنش اعمال شده است، به جای عبور از خود دانه حرکت کند.

## خزش حل شونده - کشیدن (Solute - Drug Creep)

این مکانیزم خزش معمولاً در عناصر آلیاژی مشاهده می شود؛ زیرا املاح موجود در آلیاژ مانع از تشکیل دررفتگی در شبکه کریستالی مواد می شود. این موضوع در نهایت مقاومت خزش مواد را در دماهای بالا افزایش می دهد. این نوع آلیاژها اغلب در کاربردهای هوا - فضا استفاده می شوند.

## خزش هارپر - دورن (Harper - Dorn Creep)

خزش هارپر - دورن نوعی خزش دررفتگی است که اندازه دانه تأثیری بر نرخ فشار ندارد. با این حال، برای این که این شکل از خزش خود را در یک ماده نشان دهد، اندازه دانه باید بزرگ باشد (برای مثال چیزی در حدود ۰/۵ تا ۳/۳ میلیمتر)، ماده باید خلوص بالایی داشته باشد (۹۹/۹۵ درصد) و باید مقدار آن کم باشد. چگالی در رفتگی خزش هارپر - دورن معمولاً بین ۰/۳۵ تا ۰/۶ برابر نقطه ذوب مواد با تنش های نسبتاً کم رخ می دهد.

## خزش تف جوشی (Sintering Creep)

در حین گرمادهی، ذرات فلز تا دمای بالایی گرم می شوند. حفره های موجود بین این ذرات شروع به کوچک شدن خواهند کرد. با این حال، در یک سطح استرسی خاص، این انقباض های فضای خالی می تواند متوقف شود. این تنش را تنش حدی تف جوشی می گویند. در طول فرآیند گرمادهی، چگالی مواد در طول زمان افزایش می یابد. (که اساساً نوعی خزش است.) این فرآیند توسط دما، نرخ فشار و چگالی کنترل می شود.

## راه های جلوگیری از ایجاد پدیده خزش



به صورت کلی با انتخاب فلزاتی که نقطه ذوب و مقاومت بالایی در برابر خزش دارند، می توان از ایجاد تغییر شکل خزشی جلوگیری کرد. موادی که در خودرو و موتور جت استفاده می شوند، باید به گونه ای انتخاب شوند که بتوانند بارهای بالا و دمای احتراق را تحمل کنند. قطعات فلزی که در نیروگاه ها و خطوط لوله به کار می روند نیز به دلیل محیطی که بر آن حاکم است، خطر بیشتری برای ایجاد پدیده خزش در فلز دارند. پدیده خزش را می توان با پیروی از ۳ روش پیشنهادی که در ادامه به بررسی آن ها خواهیم پرداخت، به راحتی از بین برد.



## مراحل خزش

خزش در سه مرحله اولیه، ثانویه و سوم رخ می دهد. در بیشتر موارد، مرحله ثانویه خزش، چیزی است که برای تعیین سازگاری یک ماده با یک ترکیب تنش و دمای خاص استفاده می شود. این مرحله ثانویه، طولانی ترین زمان را می گیرد و با داشتن نرخ تنش ثابت تعریف می شود. به منظور جلوگیری از خزش، ماده باید در این فاز دوم در شرایط عملیاتی عادی باقی بماند.

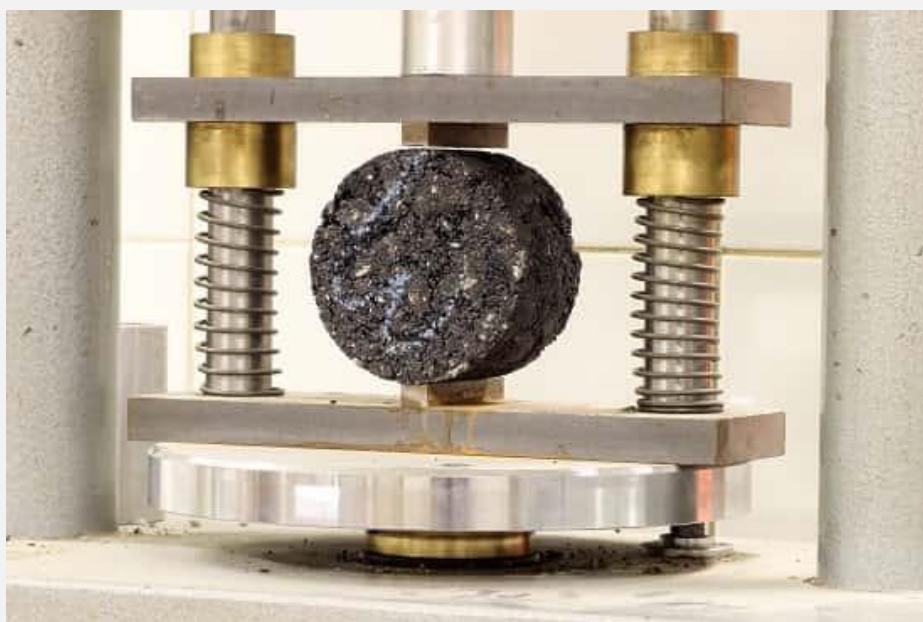
## انتخاب مواد

تغییر شکل خزش را می توان با انتخاب مواد مناسب کاهش داده یا به صورت کلی از بین برد. مواد با دانه های درشت در برابر انواع خاصی از خزش، به ویژه خزش انتشار، مقاومت بیشتری دارند. مواد بدون هیچ دانه ای می توانند در برابر خزش بسیار مقاوم باشند. یک فلز بدون دانه را می توان با ریخته گری جهتی یک قطعه تولید کرد تا این اطمینان به دست آید که از یک کریستال همگن تشکیل شده است. برخی از آلیاژهای آهن را می توان با رسوبی خاص در برابر خزش مقاوم ساخت؛ به عنوان مثال، کاربید تمایل دارد در مرزهای دانه جمع شود تا آن ها را تثبیت کند. در نتیجه از بروز دررفتگی در این نقاط جلوگیری می کند. انتخاب موادی که تحت تقویت پراکندگی قرار گرفته اند (در جایی که عناصر آلیاژی به منظور ایجاد فاز دوم در ماده اضافه شده اند) از شکل گیری دررفتگی جلوگیری خواهد کرد.

## شرایط کاری مختلف

خزش نیاز به زمان و دما دارد. ساده ترین راه به منظور جلوگیری از تغییر شکل خزش این است که این اطمینان به دست آید که دمای عملیاتی حتی المقدور پایین است. اگر این شرایط امکان پذیر نیست، قطعه را با عمر مفید کمتر طراحی کنید تا مطمئن شوید که می توان آن را در حالی که سطوح تغییر شکل خزش هنوز پایین است، تعویض کرد. همچنین، می توان موادی با نقطه ذوب بالاتر انتخاب کرد.

## مقاومت در برابر پدیده خزش چیست؟



مقاومت در برابر پدیده خزش اصطلاحی است که در علم مواد استفاده می شود و به توانایی یک ماده جامد برای مقاومت در برابر خزش اشاره دارد. این پدیده تمایل فلزات یا هر ماده دیگری به تغییر شکل آهسته طی یک دوره طولانی قرار گرفتن در معرض سطوح بالایی از تنش را نشان می دهد. مقاومت در برابر پدیده خزش تحت تأثیر موارد زیر است:

- خواص و ویژگی ای که هر ماده دارد.

- مدت زمانی که در معرض یک عامل استرس زا قرار می گیرد.
  - دمایی که طی آن در معرض مواد استرس زا قرار خواهد گرفت.
  - قدرتی که عامل استرس وارد می کند؛ به عنوان مثال وزن باری که عامل استرس روی بار ایجاد می کند.
- مقاومت در برابر خزش یک ماده را می توان به صورت کلی بر حسب میزان خزشی که توسط مقدار خاصی از فشار روی یک ماده برای مدت زمان مشخصی ایجاد می شود، تعریف کرد.