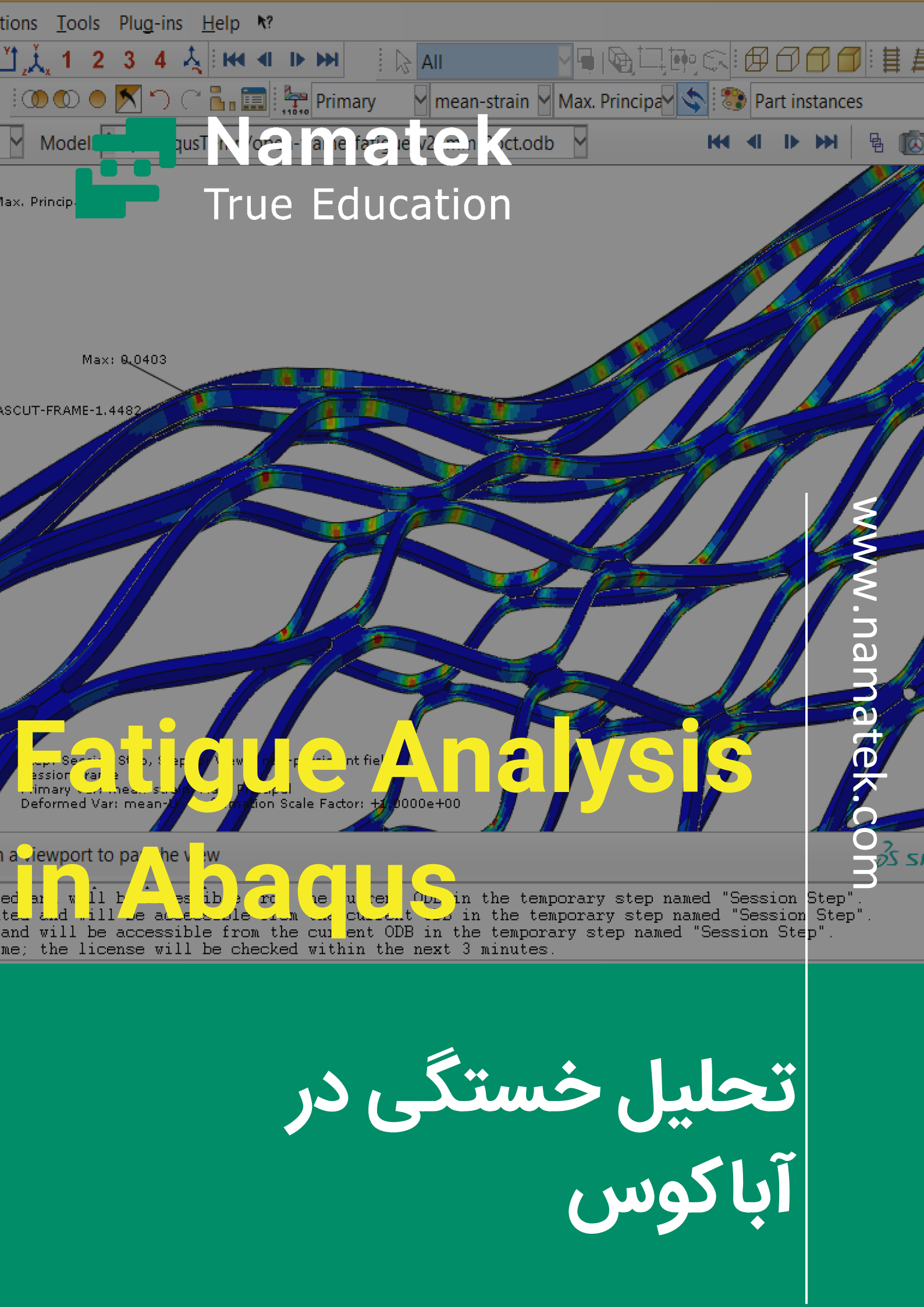




Namatek
True Education

Fatigue Analysis in Abaqus

www.namatek.com

تحلیل خستگی در
آباکوس

فهرست مطالب

۱. تجزیه و تحلیل آسیب خستگی و خستگی چیست؟
۲. نمونه های واقعی خستگی
۳. نحوه شروع تحلیل خستگی در آباکوس
۴. چگونه می توان تحلیل خستگی در آباکوس را انجام داد؟
۵. مراحل انجام تحلیل خستگی در آباکوس

در موادی مانند فلزات، پلیمرها و کامپوزیت‌ها، آسیب ناشی از خستگی با شروع ترک شروع می‌شود، به دنبال آن رشد ترک و به شکست نهایی ختم می‌شود. مهندسان از مدل‌ها و ابزارهای تجزیه و تحلیل مختلفی برای پیش‌بینی مدت زمانی که یک ماده می‌تواند بارگذاری چرخه‌ای را قبل از شکست تحمل کند، استفاده می‌کنند. اگر قصد انجام تحلیل خستگی در آباکوس را دارید، داشتن دانش در مورد شرایط بارگذاری، خواص خستگی مواد و نوع خستگی (چرخه پایین یا چرخه بالا) که می‌خواهید شبیه‌سازی کنید، ضروری است. این مقاله نگاهی جامع به خستگی از زوایای مختلف دارد و نحوه انجام شبیه‌سازی تحلیل خستگی در آباکوس و المان‌های مورد نیاز را مورد بحث قرار داده است.

تجزیه و تحلیل آسیب خستگی و خستگی چیست؟



خستگی آسیب ساختاری پیش‌رونده‌ای است که وقتی یک ماده در معرض بارگذاری چرخه‌ای قرار می‌گیرد، رخ می‌دهد. این نوع بارگذاری، تنش‌های مکرر یا نوسانی را اعمال می‌کند که معمولاً کمتر از مقاومت تسلیم ماده است که باعث شروع تدریجی و رشد ترک‌ها در طول زمان می‌شود. مواد در طول دوره‌های طولانی چنین تنش‌ی، آسیب خستگی را تجربه می‌کنند. در نهایت،

این ترک‌ها می‌توانند منجر به شکست فاجعه بار شوند، حتی اگر تنش‌های اعمال شده به مراتب کمتر از بار شکست استاتیکی باشد.

این امر بر اهمیت تحلیل خستگی در پیش‌بینی و جلوگیری از خرابی‌های بالقوه در ساختارها و اجزای مختلف تأکید می‌کند.

شکست خستگی می‌تواند در سه مرحله اصلی رخ دهد:

- **شروع ترک:** عیوب کوچک یا غلظت تنش (مانند زبری سطح، حفره‌ها یا بریدگی‌ها) پس از بارگذاری‌های مکرر شروع به تبدیل شدن به ترک‌های ریز می‌کنند.

- **انتشار ترک:** این ریزترک‌ها با هر چرخه بارگذاری منبسط می‌شوند و به آرامی در سطح ماده یا در داخل رشد می‌کنند.

- **شکستگی نهایی:** هنگامی که ترک‌ها به اندازه بحرانی می‌رسند، ماده دیگر نمی‌تواند در برابر استرس مقاومت کند و منجر به شکست ناگهانی و اغلب فاجعه آمیز می‌شود.

فرایند خستگی پیچیده است؛ زیرا به عوامل مختلفی مانند دامنه بار، میانگین تنش، خواص مواد، شرایط سطح و تأثیرات محیطی (مثلاً خوردگی) بستگی دارد. خستگی می‌تواند در فلزات، پلیمرها، سرامیک‌ها و کامپوزیت‌ها تحت شرایط بارگذاری چرخه‌ای رخ دهد.

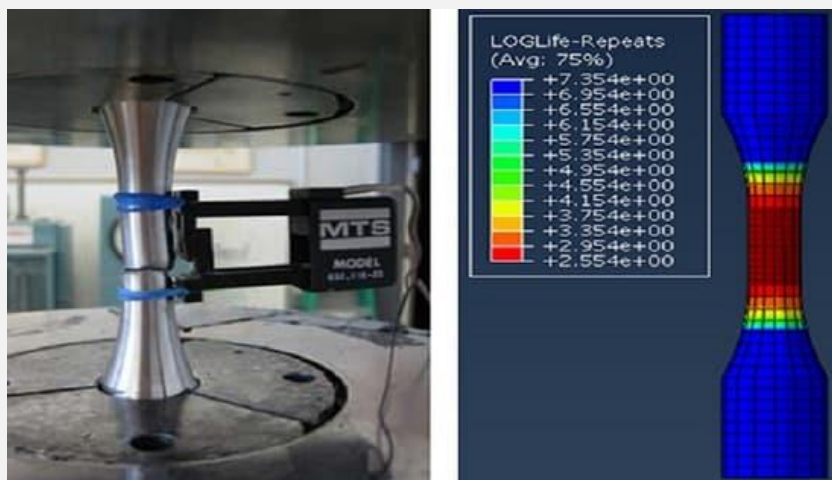
نمونه‌های واقعی خستگی



چند نمونه واقعی از پدیده خستگی را در ادامه بررسی می‌کنیم.

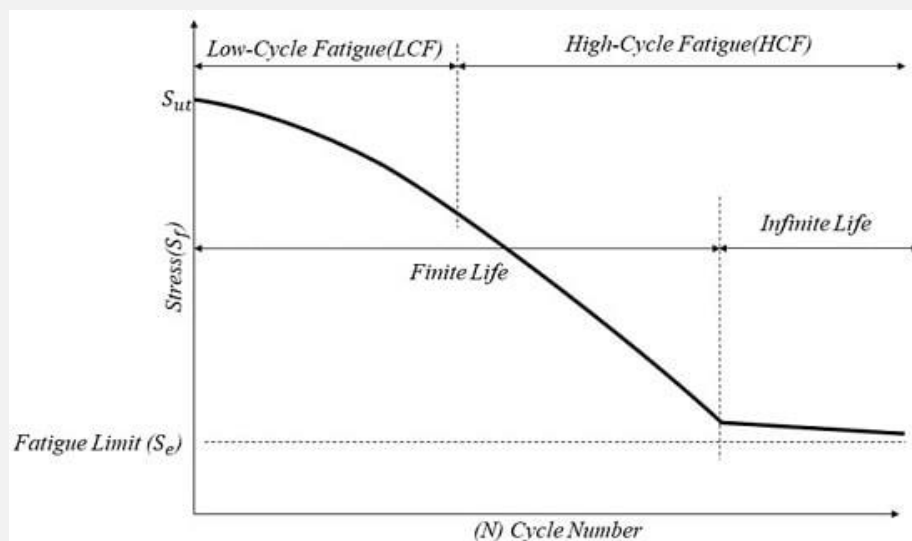
- **پل‌ها:** پل‌ها، بارگیری چرخه‌ای را از وسایل نقلیه عبوری از روی آن‌ها تجربه می‌کنند. تنش‌های مکرر می‌تواند باعث ایجاد ترک‌های خستگی در سازه فولادی یا بتنی شود. به عنوان مثال، فروریختن پل نقره‌ای در ایالات متحده در سال ۱۹۶۷ به خستگی یک دهانه، یک جز مهم باربر پل نسبت داده شد.
- **ماشین‌های دوار:** اجزایی مانند پره‌های توربین، چرخ‌دنده‌ها و محورها در طول کارکرد تنش‌های چرخه‌ای را تجربه می‌کنند. با گذشت زمان، این تنش‌ها می‌توانند باعث ایجاد ترک‌های خستگی شوند. خرابی تیغه توربین به دلیل خستگی در موتورهای جت می‌تواند منجر به خرابی فاجعه بار موتور شود.

نحوه شروع تحلیل خستگی در آباکوس



برای انجام تحلیل خستگی در آباکوس، باید از یک رویکرد ساختاریافته پیروی کنید که شامل انتخاب روش تحلیل خستگی مناسب، تهیه مدل خود و جمع‌آوری داده‌های ورودی لازم است. در اینجا یک راهنمای دقیق در مورد نحوه شروع ارائه شده است.

داده‌های ورودی مورد نیاز برای شبیه‌سازی خستگی



داده‌های زیر برای شبیه‌سازی خستگی مورد نیاز است:

(1) تاریخچه تنش یا کرنش

تنش و کرنش از تجزیه و تحلیل ساختاری تحت بارگذاری چرخه‌ای حاصل می‌شود. این‌ها را می‌توان از شبیه‌سازی استاتیک یا دینامیک در Abaqus به دست آورد.

(2) خواص خستگی مواد

این‌ها عبارت‌اند از:

- منحنی SN (منحنی استرس - زندگی): رابطه بین دامنه تنش و تعداد چرخه‌های شکست را نشان می‌دهد.
- Strain-Life Curve: برای شبیه‌سازی خستگی در چرخه پایین، به داده‌های طول عمر کرنش نیاز دارید.
- ضریب قدرت خستگی ($\sigma f'$) و توان (b): برای پیش‌بینی عمر خستگی در چرخه بالا.
- ضریب شکل‌پذیری خستگی ($\epsilon f'$) و توان (c): برای پیش‌بینی خستگی در چرخه پایین.
- رابطه Coffin-Manson: برای شبیه‌سازی خستگی مبتنی بر کرنش.
- داده‌های رشد ترک (پارامترهای قانون پاریس): اگر در حال انجام تجزیه و تحلیل انتشار ترک هستید.

(3) شرایط بارگذاری

- بارگذاری چرخه‌ای می‌تواند بر اساس زمان (به عنوان مثال، تنش‌های نوسان در طول زمان) یا مبتنی بر بار (میزان بارگذاری متغیر در چرخه‌ها) باشد.
- اگر بارگذاری پیچیده باشد، ممکن است به تاریخچه یا طیف بار نیاز داشته باشید.

4) میانگین تنش تصحیح (اختیاری)

اگر بار شامل یک تنش متوسط باشد، ممکن است به یک فاکتور اصلاحی مانند گودمن یا گربر نیاز باشد تا تأثیر تنش متوسط بر عمر خستگی را در نظر بگیرد.

5) عوامل محیطی (اختیاری)

برای شبیه‌سازی خستگی پیشرفته‌تر، عوامل محیطی مانند دما یا خوردگی ممکن است در نظر گرفته شوند.

انواع شبیه‌سازی تحلیل خستگی در آباکوس

تحلیل خستگی در آباکوس را می‌توان به‌طور کلی به چندین روش طبقه‌بندی کرد که هر کدام برای شرایط بارگذاری مختلف مناسب هستند:

• **خستگی سیکل بالا (HCF):** خستگی چرخه بالا زمانی رخ می‌دهد که سازه چرخه‌های زیادی (معمولاً بیش از ۱۰۰۰۰ چرخه) با سطوح تنش کم تا متوسط را پشت سر بگذارد. در این نوع، نتایج تحلیل استرس Abaqus را می‌توان با منحنی استرس - زندگی (SN) برای پیش‌بینی عمر خستگی استفاده کرد و معمولاً زمانی انجام می‌شود که تغییر شکل الاستیک غالب باشد.

• **خستگی سیکل پایین (LCF):** خستگی چرخه پایین تحت سطوح استرس یا کرنش بالا، جایی که تغییر شکل پلاستیک قابل‌توجه است، با چرخه‌های کمتر (معمولاً کمتر از ۱۰۰۰۰ چرخه) اتفاق می‌افتد. در این نوع از خستگی از منحنی‌های ϵ -N Strain-Life برای پیش‌بینی زندگی استفاده می‌شود و تجزیه و تحلیل بر روی مناطق با تغییر شکل پلاستیک متمرکز است.

- **تجزیه و تحلیل خسارت تجمعی:** برای شرایطی که بارگذاری متغیر یا تصادفی است، قانون Palmgren-Miner می‌تواند برای تخمین عمر خستگی بر اساس تجمع آسیب استفاده شود. این رویکرد خسارت ناشی از هر چرخه بار را برای تخمین عمر کل جمع می‌کند.
- **شروع و انتشار ترک:** آباکوس می‌تواند شروع و رشد ترک را در حالت خستگی با استفاده از XFEM (روش المان محدود توسعه یافته) یا قانون پاریس برای رشد ترک شبیه‌سازی کند. شما می‌توانید پیش‌بینی کنید که ترک از کجا شروع می‌شود و به دلیل بارگذاری چرخه‌ای چگونه منتشر می‌شود.
- **خستگی حرارتی مکانیک (TMF):** در کاربردهایی که بارگذاری چرخه‌ای مکانیکی با تغییرات دما همراه است، شبیه‌سازی‌های TMF برای پیش‌بینی تأثیر تنش‌های حرارتی بر عمر خستگی انجام می‌شوند.
- **خستگی ناشی از ارتعاش:** در برخی از کاربردها، مانند خودرو یا هواافزا، قطعات در معرض بارگذاری ارتعاشی قرار می‌گیرند. تحلیل خستگی را می‌توان بر اساس پاسخ فرکانسی و نتایج تنش/ کرنش حاصل از تجزیه و تحلیل ارتعاش هارمونیک یا تصادفی انجام داد.

چگونه می‌توان تحلیل خستگی در آباکوس را

انجام داد؟

این سؤال اغلب برای کاربران آباکوس پیش می‌آید که چگونه تحلیل خستگی در آباکوس انجام دهیم؟ به طور کلی، آباکوس به طور مستقل برای

تجزیه و تحلیل خستگی استفاده نمی‌شود. تحلیل بارگذاری چرخه‌ای و خستگی برای هر ماده و هر رژیم بارگیری داستان خاص خود را دارد. به همین دلیل است که شما نیاز به نرم افزار، پلاگین یا نوشتن برنامه‌های فرعی و اسکریپت پایتون دارید. در ادامه ابزارهای موجود شامل سابروتین‌های کاربر، پلاگین‌ها، اسکریپت‌های پایتون و برخی نرم افزارهای دیگر برای انجام تحلیل خستگی در آباکوس را معرفی می‌کنیم.

تحلیل خستگی فلزات در آباکوس

برای تحلیل خستگی چرخه پایین فلزات در نرم افزار آباکوس، یک مثال در مستندات موجود است که به بررسی خستگی حرارتی می‌پردازد. در این تحلیل، از روش Direct Cyclic استفاده شده است که به دلیل پایداری در هر چرخه، انتخاب مناسبی به شمار می‌آید؛ اما برای ارزیابی دقیق سخت شدن و نرم شدن چرخه‌ای، لازم است داده‌های خاصی، مانند نتایج آزمایش‌های مرحله‌ای، در دسترس باشند. این روش به بسط فوریه برای تحلیل چرخه‌ای متکی است و شامل محاسبه مکرر ضرایب سری فوریه می‌باشد. اگر با چنین مسائلی مواجه هستید، می‌توانید از این مدل بهره‌برداری کنید و شبیه‌سازی خستگی را انجام دهید.

برای آنالیز خستگی در چرخه‌های بالا، توصیه می‌شود از نرم افزارهای تخصصی خستگی مانند fe-safe و MSC-Fatigue استفاده کنید. این نرم افزارها دارای کتابخانه‌ای گسترده از مدل‌های بارگذاری و مواد مختلف هستند و معمولاً کاربران از تجربه کار با این ابزارها راضی هستند. این نرم افزارها می‌توانند به بهبود دقت و کارایی در تحلیل‌های خستگی کمک شایانی نمایند.

تجزیه و تحلیل خستگی کامپوزیت‌های FRP در Abaqus

تحلیل خستگی مرکب در Abaqus پیچیده است و گاهی اوقات برای انجام آن نیاز به استفاده از برنامه‌های فرعی مانند UMAT دارید. آنالیز خستگی در مواد کامپوزیتی یکی از پرکاربردترین کاربردها در صنعت امروزی است. بررسی این رفتار خستگی برای مواد کامپوزیتی دارای پیچیدگی‌ها و عدم قطعیت‌های زیادی است. دانشمندان با ارائه نظریه‌های مختلف بر اساس نتایج آزمایشگاهی سعی در پیش‌بینی رفتار خستگی این ماده در بارهای مختلف داشته‌اند. برای مواد پیشرفته‌ای مانند کامپوزیت‌های FRP که اخیراً مورد استفاده قرار می‌گیرند، افزونه‌های تخصصی دیگری مانند Autodesk Helius PFA وجود دارد که از نظر کاربران، کار با این افزونه Abaqus بسیار راضی‌کننده است.

تجزیه و تحلیل خستگی چرخه‌ای بتن در آباکوس

در نرم‌افزار آباکوس مدل مواد پلاستیسیته آسیب بتن (CDP) که برای تحلیل مصالح بتن استفاده می‌شود، در زمینه بارگذاری چرخه‌ای دارای محدودیت‌هایی است؛ به همین علت، در مواردی که نیاز به تحلیل دقیق‌تری از رفتار بتن تحت بارگذاری چرخه‌ای وجود دارد، پیشنهاد می‌شود سابروتین‌های کاربری V/UMAT یا V/UEL در نرم‌افزار آباکوس را بنویسید. این سابروتین‌ها امکان ایجاد مدل‌های پیچیده‌تر و دقیق‌تر را فراهم می‌کنند و می‌توانند رفتار بتن را در شرایط بارگذاری متفاوت بهتر شبیه‌سازی کنند.

بنابراین، برای بهبود دقت نتایج و تحلیل‌های مربوط به بتن، ضروری است که از این روش‌های پیشرفته استفاده شود.

سابروتین‌های کاربر و اسکریپت‌های پایتون برای تحلیل خستگی

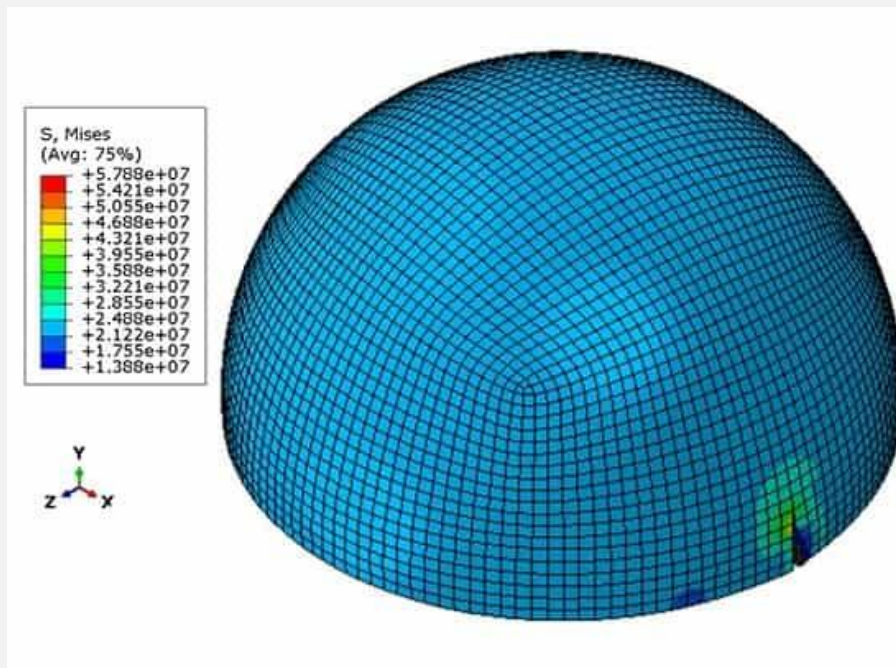
اگر مدل‌های مواد و شرایط خاصی که مورد نیاز است در نرم‌افزار آباکوس در دسترس نباشد، شما باید آماده باشید تا خودتان دست به کار شوید و اسکریپت‌های پایتون و مراحل کاربری را ایجاد کنید. این کار برای افراد تازه‌کار ممکن است زمان‌بر باشد و نیاز به تسلط بر زبان‌های برنامه‌نویسی Fortran و Python دارد. از این گذشته، آشنایی با اصول برنامه‌نویسی عناصر محدود (FE) و تسلط بر تئوری‌های خستگی و روش‌های پیاده‌سازی آن‌ها در کد نیز ضروری است. این موارد به شما کمک می‌کند تا به درک عمیق‌تری از مسائل موجود دست یابید و راه‌حل‌های مناسبی را برای مشکلات مختلف طراحی کنید. در واقع، این فرآیند شما را به یک برنامه‌نویس ماهر در زمینه تحلیل‌های مهندسی تبدیل می‌کند و توانایی شما را در حل مسائل پیچیده افزایش می‌دهد.

پلاگین FCG Abaqus

انتشار ترک خستگی یک نکته مهم در ارزیابی عمر طراحی اجزای مهندسی، به ویژه در صنایع انرژی و حمل و نقل است. علی‌رغم اهمیت آن، تحلیل‌های خستگی معمولاً توسط کدهای تجاری المان محدود (FE) پشتیبانی نمی‌شوند.

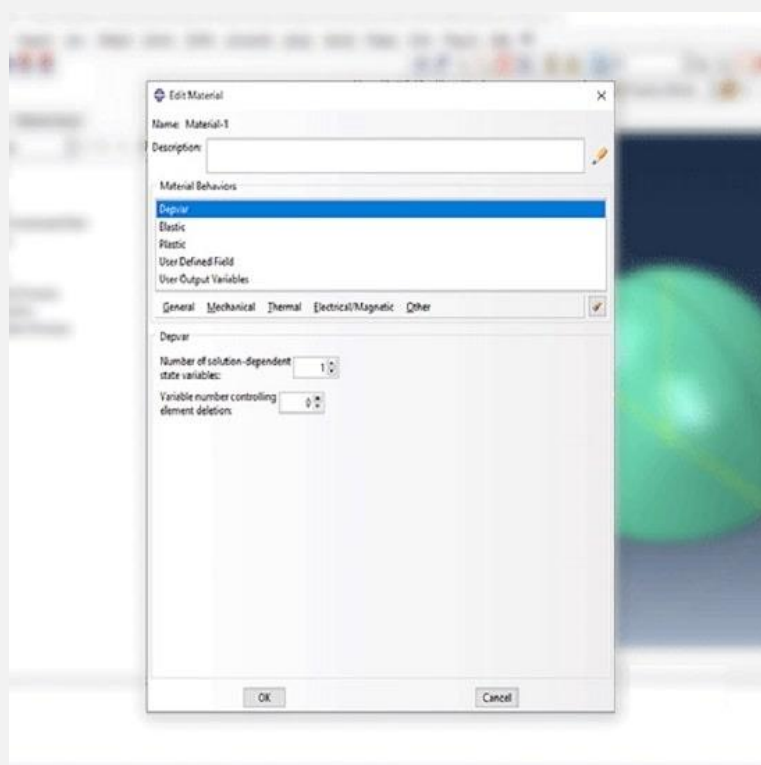
در واقع، اکثر کدهای FE نیاز به افزودن پلاگین‌های پرهزینه برای انجام شبیه‌سازی رشد ترک خستگی دارند؛ بنابراین، پلاگین FCG Abaqus برای شبیه‌سازی رشد ترک خستگی با کد تجاری FE Abaqus معرفی می‌کند. این افزونه شامل پنج مدل مختلف رشد ترک خستگی است و برای شبیه‌سازی انتشار ترک به روش توسعه‌یافته FE متکی است. این افزونه محدود به تحلیل‌های دوبعدی است؛ اما تمام مراحل لازم برای شبیه‌سازی رشد ترک خستگی، از ایجاد هندسه تا ارسال کار و پس‌پردازش را پوشش می‌دهد. اجرای پلاگین با مقایسه پیش‌بینی‌های آن با نتایج تحلیلی و تجربی تأیید می‌شود. پلاگین‌ها و افزونه‌های فراوان دیگری نیز توسط گروه معرف نرم افزار آباکوس و سایر گروه‌های نرم افزاری معرفی شده‌اند که هر کدام برای مواد و شرایط کاری مختلف مناسب می‌باشند. بعضی از آن‌ها به حالت رایگان هستند ولی برای استفاده از بعضی از این ابزارها باید هزینه پرداخت کرد.

مراحل انجام تحلیل خستگی در آباکوس



انجام تجزیه و تحلیل خستگی در آباکوس شامل چندین مرحله است.
در زیر یک طرح کلی از روند ارائه شده است:

راه اندازی مدل در Abaqus

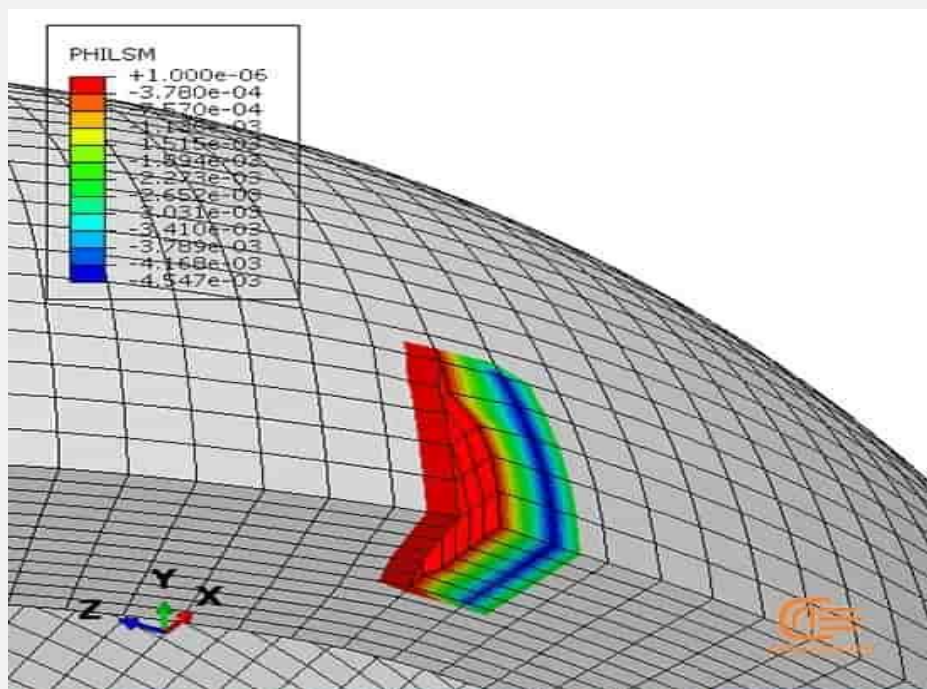


- **هندسه را ایجاد کنید:** مؤلفه خود را در Abaqus/CAE طراحی کنید، مطمئن شوید که به طور دقیق بخشی را نشان می‌دهد که می‌خواهید تجزیه و تحلیل کنید.
- **مواد را تعریف کنید:** ویژگی‌های مواد از جمله خواص الاستیک و پلاستیک و همچنین ویژگی‌های خستگی (در صورت وجود) را به مدل خود اختصاص دهید،
- **مدل را مش کنید:** یک شبکه المان محدود ایجاد کنید که به اندازه کافی خوب باشد تا گرادیان‌های تنش، به ویژه در اطراف مناطق مورد نظر (مانند بریدگی‌ها یا سوراخ‌ها) را ثبت کند.
- **اعمال بارها و شرایط مرزی:** شرایط بارگذاری (ایستا یا دینامیک) را تعریف کنید و شرایط مرزی را اعمال نمایید که محدودیت‌های دنیای واقعی را بر روی قطعه شبیه‌سازی می‌کند.

تجزیه و تحلیل استاتیک یا دینامیک

- **انجام تجزیه و تحلیل:** برای به دست آوردن نتایج تنش، تجزیه و تحلیل ایستا یا پویا را اجرا کنید. این می‌تواند یک تحلیل استاتیکی خطی، یک تحلیل پاسخ دینامیکی یا یک تحلیل غیرخطی بسته به نیاز شما باشد.
- **بررسی نتایج:** نتایج را برای هرگونه خطا یا ناهنجاری در توزیع تنش بررسی کنید.

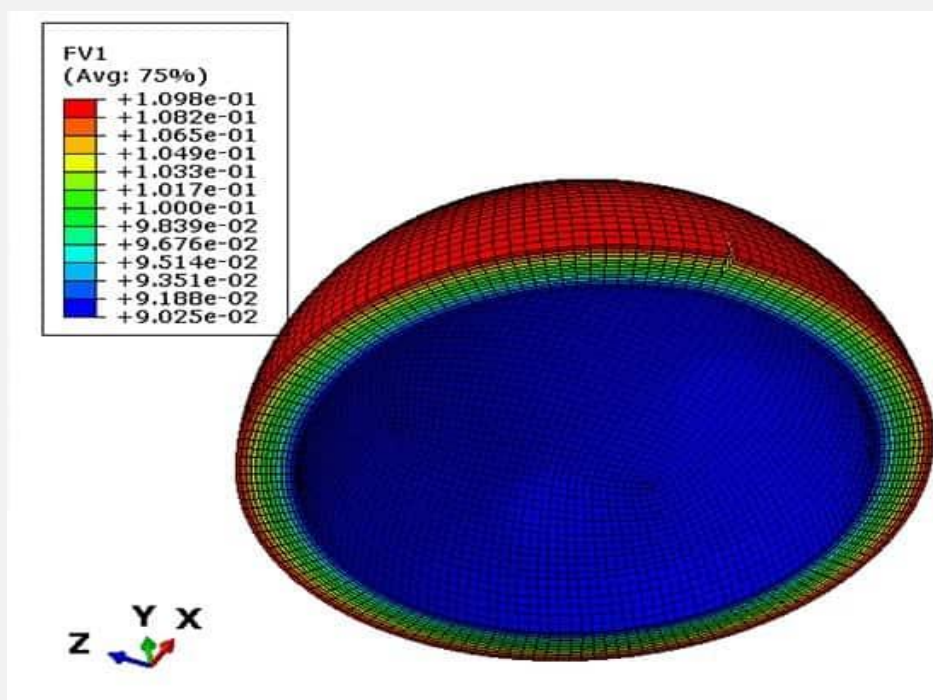
پارامترهای تحلیل خستگی



پارامترهای تحلیل خستگی را تنظیم کنید که ممکن است شامل موارد زیر باشند:

- **تاریخچه بارگذاری:** چرخه‌های بار و مقدار آن‌ها را تعریف کنید.
- **ویژگی‌های خستگی مواد:** ویژگی‌های خستگی مواد ورودی (مانند منحنی‌های SN یا سایر معیارهای خستگی).
- **اثرات بریدگی:** در صورت وجود، هر عامل تمرکز تنش یا حساسیت بریدگی را تعریف کنید.

انجام تحلیل خستگی



- اجرای تجزیه و تحلیل خستگی: تجزیه و تحلیل خستگی را اجرا کنید.
- نتایج بررسی: خروجی را تجزیه و تحلیل کنید که ممکن است شامل پیش بینی عمر خستگی، تجمع آسیب و عوامل ایمنی باشد.

پس از پردازش و گزارش

- تجسم نتایج: از ابزارهای تجسم برای تفسیر نتایج استفاده کنید. شما می توانید نمودارهایی را ایجاد کنید که مناطق با خطر خستگی بالا را نشان می دهد.
- تهیه گزارش ها: یافته ها را در یک گزارش جمع آوری کنید، روش شناسی و نتایج حاصل از تحلیل خستگی را خلاصه کنید.

نکات

- اطمینان حاصل کنید که مش در آباکوس به اندازه کافی، به خصوص در مناطقی که گرادیان تنش بالا مورد انتظار است تصفیه شده است؛ زیرا این کار باعث بهبود دقت تجزیه و تحلیل خستگی می شود.
 - با خواص خستگی مواد مرتبط با تجزیه و تحلیل خود آشنا شوید؛ زیرا این ویژگی ها به طور قابل توجهی بر نتایج تأثیر می گذارند.
 - نتایج تجزیه و تحلیل خستگی خود را در صورت موجود بودن برای اطمینان بیشتر در یافته های خود با داده های تجربی تأیید کنید.
- این گردش کار یک رویکرد جامع برای انجام تجزیه و تحلیل خستگی در آباکوس را ارائه می دهد و ممکن است بر اساس نیازهای پروژه خاص یا نسخه های نرم افزار، تنظیمات لازم باشد.

سخن آخر

خستگی در طراحی مهندسی بسیار مهم است؛ زیرا اگر به درستی در نظر گرفته نشود، می تواند منجر به خرابی های غیرمنتظره شود. طراحان باید عمر خستگی یک قطعه را پیش بینی کنند و اطمینان حاصل کنند که می تواند تعداد چرخه های بار مورد انتظار را در طول عمر عملیاتی خود تحمل کند.

این امر به ویژه برای سازه ها یا اجزایی که در معرض تنش های مکرر یا نوسانی قرار می گیرند بسیار مهم است. درک خستگی مهم است؛ زیرا بر طول عمر و قابلیت اطمینان مواد تأثیر می گذارد که در صنایعی مانند هوافضا، خودروسازی و مهندسی عمران بسیار مهم است. پیش بینی تحلیل خستگی

مناسب می‌تواند از خرابی‌های غیرمنتظره جلوگیری کند و ایمنی و طول عمر قطعات را در این زمینه‌ها تضمین کند.