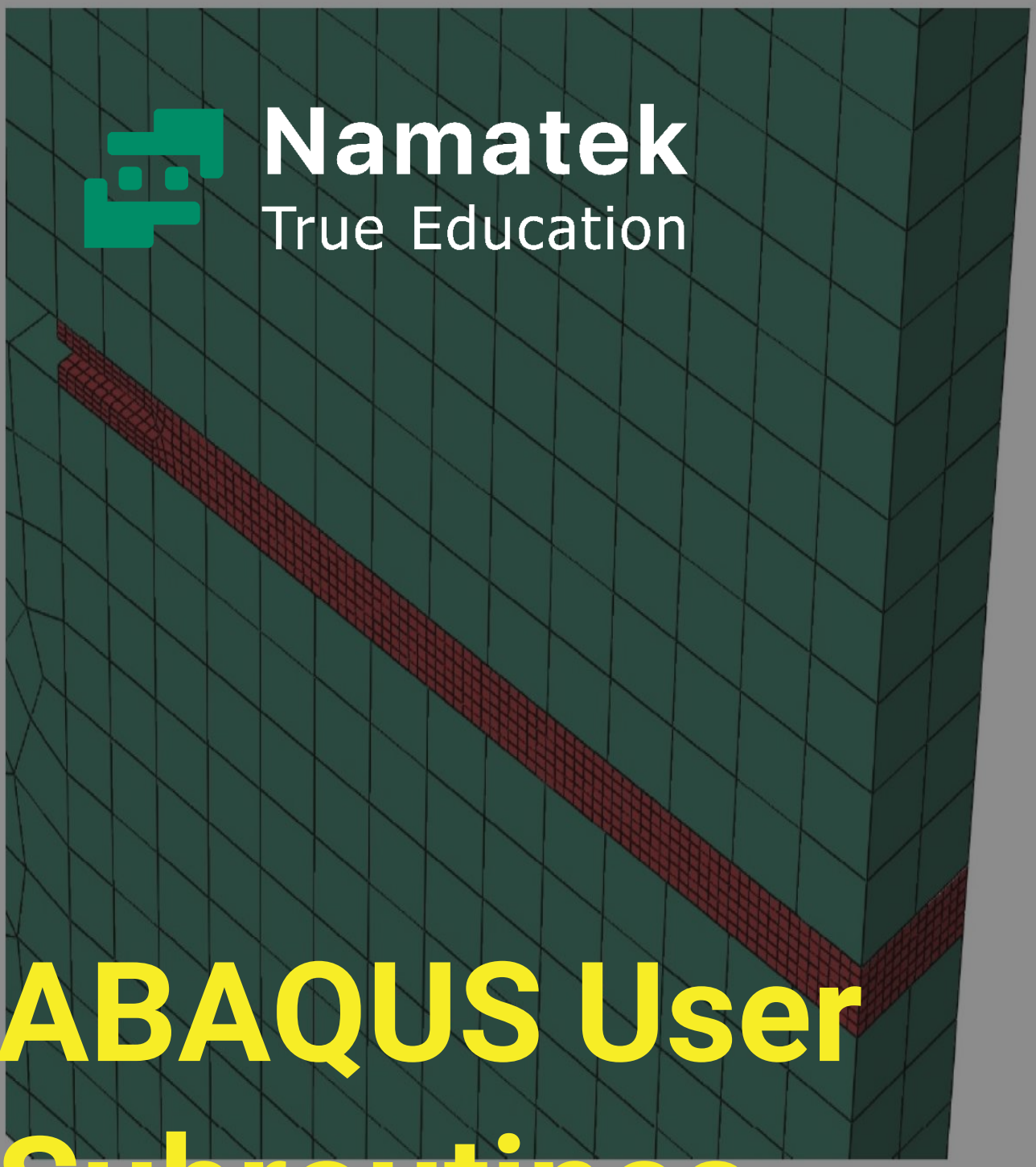


Namatek
True Education

ABAQUS User Subroutines

سابروتین آباکوس

www.namatek.com

فهرست مطالب

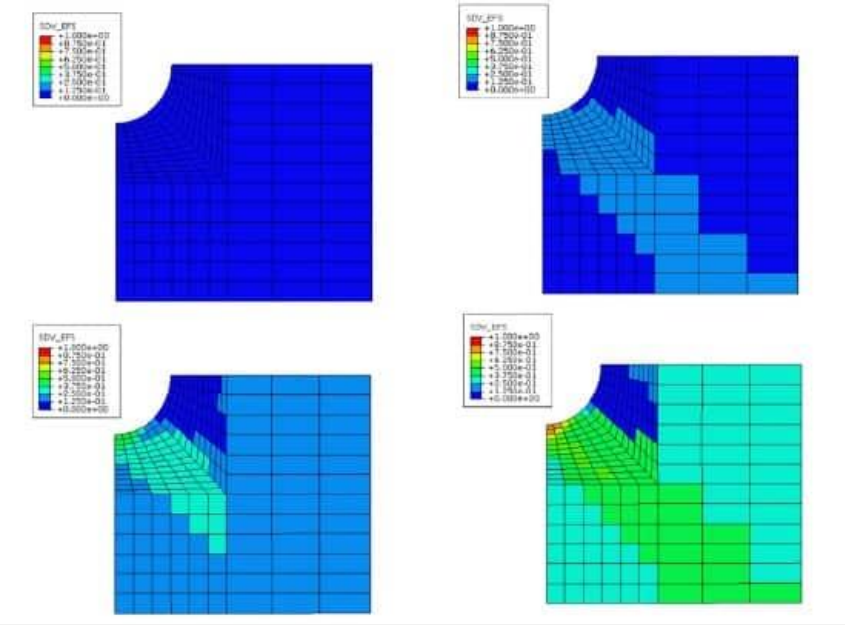
۱. سابروتین آباکوس چیست؟
۲. اجرای سابروتین آباکوس
۳. کامپایل و پیوند سابروتین آباکوس
۴. چند نمونه مشهور سابروتین آباکوس
۵. انتخاب سابروتین آباکوس مناسب

www.namatek.com

همه ما می‌دانیم که Abaqus یک حل‌کننده بسیار قدرتمند FEA است که به ما امکان می‌دهد تا انواع فیزیک دنیای واقعی را شبیه‌سازی کنیم؛ اما وقتی یک مدل مادی یا نوع دیگری از رفتار فیزیکی در ابزار در دسترس نباشد چه اتفاقی می‌افتد؟ شاید تسلیم شدن و رفتن به مسیر دیگری وسوسه انگیز باشد؛ اما نه به این سرعت! سابروتین آباکوس به شما این امکان را می‌دهد که نحوه عملکرد Abaqus را در پس‌زمینه تغییر دهید و با نرم افزاری که قبلاً می‌شناسید و دوست دارید، دنیای کاملی از امکانات جدید را باز کنید.

در این مقاله مروری کوتاه بر مفهوم سابروتین آباکوس، ویژگی‌ها و نمونه‌های سابروتین‌های آباکوس خواهیم داشت.

سابروتین آباکوس چیست؟



آباکوس آرایه گسترده‌ای از سابروتین را ارائه می‌دهد که امکان تطبیق این نرم افزار را با الزامات تجزیه و تحلیل خاص فراهم می‌کند. سابروتین‌ها، ابزار

قدرتمندی برای تجزیه و تحلیل Abaqus هستند که عملکرد چندین قابلیت مانند مدل سازی مواد، بارگذاری، عناصر، دامنه و غیره را افزایش می‌دهند. در سابروتین آباکوس شرح مفصلی از عملکرد، نظریه ریاضی و معادلات گسسته ارائه می‌گردد و متغیرهای تعریف شده و متغیرها برای اطلاعات، ارسال می‌شوند. سابروتین آباکوس بیشتر در زبان برنامه‌نویسی فرترن نوشته می‌شود؛ اگرچه امکان توسعه کد شما در C یا C ++ نیز وجود دارد. سابروتین‌ها برای Abaqus/Standard یا Abaqus/Explicit در دسترس هستند. اطلاعات بیشتر در مورد این زیربرنامه‌ها، در راهنمای زیربرنامه کاربر Abaqus موجود است. این سابروتین‌ها در بسیاری از صنایع و موضوعات مانند هوافضا، سازه‌های کامپوزیتی، علم مواد، مکانیک شکست و غیره کاربرد دارند. برای درک میزان اهمیت سابروتین آباکوس تصور کنید که یک صفحه کامپوزیت چند لایه دارید که در اثر فشرده‌سازی درون صفحه آسیب می‌بیند.

این صفحه از لایه‌های گرافیت-اپوکسی با جهت‌های فیبر تشکیل شده است که در یک لایه (۴۵-/۴۵+) قرار دارند. مدل شکست مرکب پیچیده (شکست ماتریس، شکست ماتریس فیبر و آسیب برشی) در Abaqus موجود نیست؛ بنابراین از طریق سابروتین آباکوس تعریف شده است.

اجرای سابروتین آباکوس

برای گنجاندن سابروتین آباکوس در تجزیه و تحلیل، باید نام فایل را با پارامتر کاربر در دستور اجرای Abaqus مشخص کنید.

این‌کار با دستور زیر انجام می‌گیرد:

```
Abaqus job=my_analysis user=my_subroutine
```

در این اجرا، فایل باید کد منبعی باید پسوند .f یا .for داشته باشد و یا یک فایل شیء باشد. علاوه براین در Abaqus/CAE، می‌توانید کار را ویرایش کنید و با مراجعه به برگه General –> User subroutine file می‌توانید فایل حاوی سابروتین را مشخص کنید (پسوند می‌تواند .f یا .for باشد).

کامپایل و پیوند سابروتین آباکوس

هنگامی که یک مدل شبیه‌سازی که حاوی سابروتین است به Abaqus ارسال می‌شود، باید دستورات کامپایل شده و پیوندهای صحیح به‌طور خودکار استفاده شوند. آباکوس شامل دستورات کامپایل و پیوند برای هر پلتفرمی است که این دستورات در یک فایل محیطی مخصوص پلتفرم (win86_64.env)یا (lnx86_64.env) واقع در فهرست سایت در دایرکتوری نصب (abaqus\os\SMA\site) قرار دارد. اگر با خطاهای کامپایل یا پیوند مواجه شدید، بررسی کنید که فایل محیطی خاص پلتفرم، دستورات کامپایل و پیوند را تعریف کرده باشد.

چند نمونه مشهور سابروتین آباکوس

نمونه‌های مختلفی از سابروتین آباکوس وجود دارد.

نمونه‌های متداول این سابروتین‌ها عبارت اند از:

- UMAT و VUMAT
- USDFLD و VUSDFLD
- DLOAD و VDLOAD

- UHYPER
- UEL و VUEL
- FRIC و VFRIC
- UMESHMOTION
- HETVAL
- DFLUX
- DISP و VDISP

سابروتین UMAT & VUMAT

UMAT، یک سابروتین حیاتی ABAQUS است که برای وارد کردن ثابت‌های مواد برای ایجاد مدل‌های مکانیکی سفارشی عمل می‌کند. همچنین، برای مدل‌های مواد حرارتی تعریف شده توسط کاربر (UMATHT) به‌کار برده می‌شود.

UMAT برای حل‌کننده استاندارد آباکوس و سابروتین VUMATبرای حل‌کننده صریح آباکوس است. از این سابروتین‌ها می توان برای موارد زیر استفاده کرد:

- تعریف رفتار سازنده مکانیکی مواد
- فراخوانی در تمام نقاط محاسبه مواد
- تعریف هر رویه حاوی رفتار مکانیکی

از کاربردهای عملی استفاده شده این سابروتین آباکوس، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

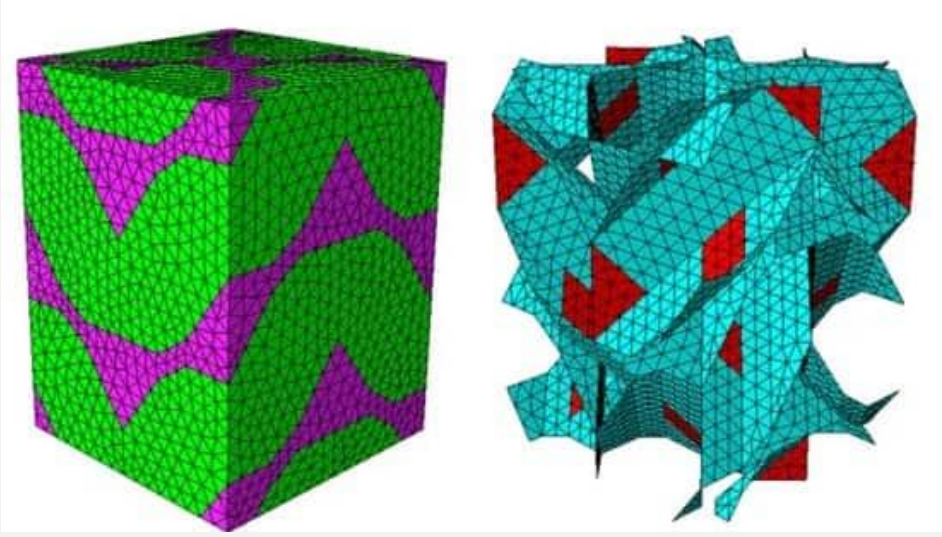
1) تجزیه و تحلیل روسازی آسفالت

در سال ۲۰۱۷، بنیاد ملی علوم طبیعی چین، تحقیقاتی را برای بررسی رفتار شیار شدن روسازی آسفالت با استفاده از سابروتین آباکوس انجام داد و زیربرنامه UMAT برای یادگیری ویژگی مخلوط آسفالت و تجزیه و تحلیل رفتار شیار شدن روسازی آسفالت ایجاد شد.

2) کامپوزیت هیبریدی کربن/کولار

وزارت آموزش عالی مالزی در سال ۲۰۲۰ مقاله‌ای را برای تحقیق در مورد پیش‌بینی تنش حرارتی کامپوزیت هیبریدی کربن/کولار در برش لیزری تأمین مالی کرد. محققان این مشکل را در نرم افزار آباکوس مدل‌سازی کردند و از زیربرنامه VUMAT بهره بردند. این زیرروال برای کنترل حذف مواد در طول روش برش لیزر استفاده می‌شود.

3) پیش بینی قدرت کامپوزیت



سازه‌های کامپوزیتی کاربردهای گسترده‌ای در بسیاری از صنایع مانند هوانوردی و ارتش دارند. بنیاد علوم پسا دکتری استان جیانگ سو در سال ۲۰۱۷ مقاله‌ای تهیه کرد که در آن نحوه مدل‌سازی یک کامپوزیت بافته سه بعدی با استفاده از زیربرنامه ABAQUS برای پیش‌بینی سفتی و استحکام

کامپوزیت را توضیح داد. سابروتین VUMAT شبیه‌سازی آسیب و مدل‌سازی ترکیبی را انجام داد.

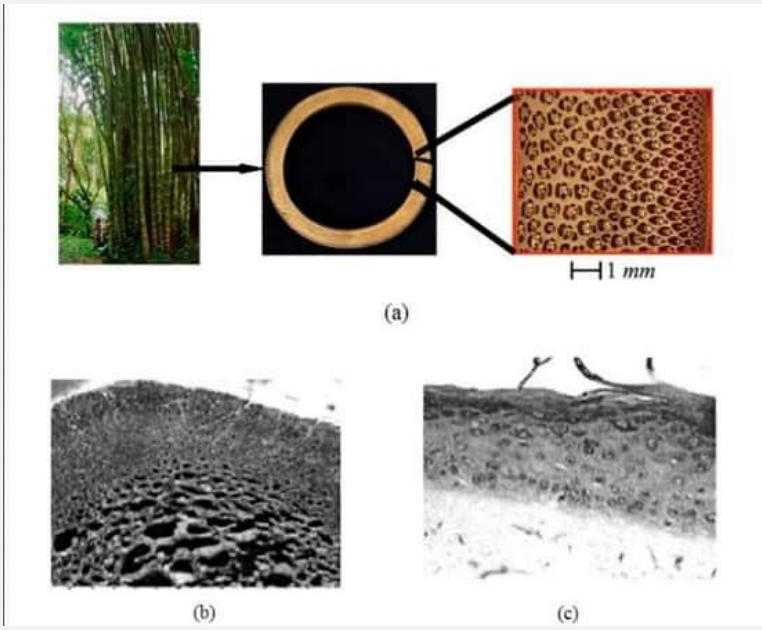
4) توربین جریان جزر و مدی مرکب

امروزه تقاضای انرژی رو به افزایش است و با توجه به گرمایش جهانی، انرژی قابل بازیافت مانند انرژی‌های تجدیدپذیر دریایی هر روز در سراسر جهان جالب‌تر می‌شود. در سال ۲۰۲۰ آزمایشگاه انرژی‌های تجدیدپذیر و سیستم‌های دینامیکی مراکش تحقیقاتی را در مورد اثرات قرار گرفتن در معرض محیطی بر خواص مکانیکی توربین جریان جزر و مدی مرکب منتشر کرد. زیربرنامه VUMAT آسیب را براساس معیار هاشین، برای آسیب داخل لایه‌ای مدل‌سازی کرد.

5) مواد درجه بندی شده عملکردی (FGM)

همان‌طور که می‌دانید مواد FGM یکی از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین مواد در چند سال گذشته بوده است و در بسیاری از صنایع مانند هوافضا، انرژی هسته‌ای، زیست‌شناسی و غیره استفاده می‌شود. در سال ۲۰۱۹، واحد

مکانیک و مواد تولید مهندسی تونس یک تحلیل هندسی غیرخطی از رفتار الاستوپلاستیک FGM انجام داد. محققین FGM را با سابروتین آباکوس مدل‌سازی کردند. در این مدل‌سازی، زیربرنامه UMAT خصوصیات مواد FGM را تعریف کرد. شکل زیر نمونه‌های طبیعی از FGM ساقه بامبو، استخوان و پوست انسان را نشان می‌دهد.

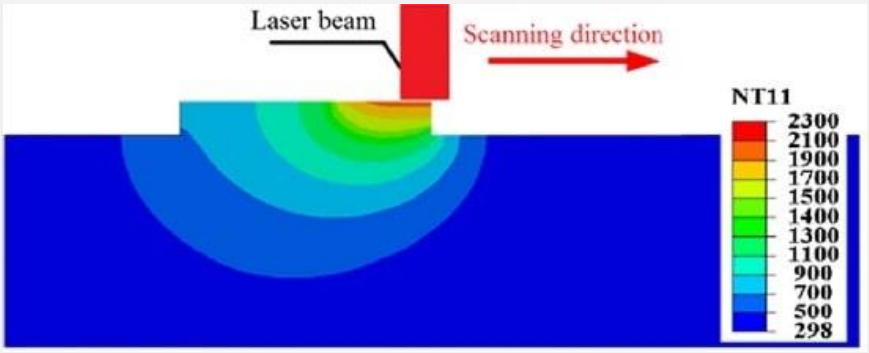


سابروتین‌های USDFLD وVUSDFLD

فیلد تعریف‌شده توسط کاربر (USDFLD) حل کننده استاندارد و VUSDFLD حل کننده صریح به‌شما امکان می‌دهد تا مقادیر متغیرهای فیلد را در یک نقطه مادی در یک افزایش مجدد تعریف کنید. به عبارت دیگر، می‌توانید متغیرهای فیلد را به‌عنوان تابعی از زمان در هر نقطه مادی موجود تعریف نمایید. برخی از برنامه‌های عملی سابروتین USDFLD و VUSDFLDدر ادامه آورده شده اند.

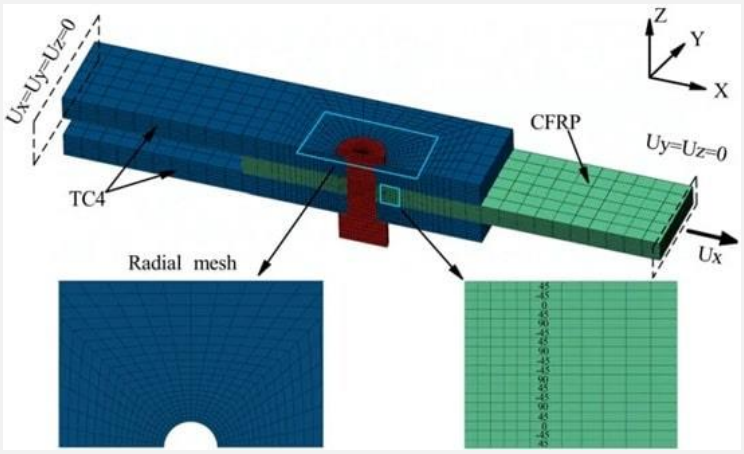
1) تولید افزودنی (چاپ سه بعدی)

در سال ۲۰۱۹، دانشگاه اسکندریه مصر مقاله‌ای در مورد چاپ سه بعدی منتشر کرد. این مقاله در مورد اثرات سرعت اسکن لیزری بر اعوجاج قطعات صحبت می‌کند. مدل‌سازی المان محدود این بخش، با کمک زیربرنامه USDFLD اجرا می‌شود که تغییر فاز از پودر به حالت جامد را شبیه‌سازی می‌کند.



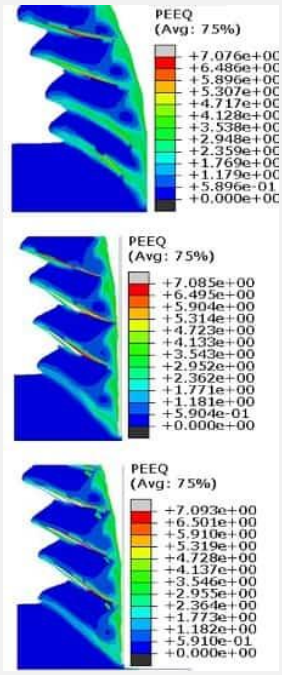
2) اتصالات پیچی مورد استفاده در هواپیما

صنعت هواپیماسازی شیان چین در سال ۲۰۱۸ روی اتصالات پیچ‌دار CFRP/Ti کار کرد که به‌طور فزاینده‌ای در سازه‌های هواپیما استفاده می‌شوند. یک بررسی تجربی و عددی برای یافتن اثرات اندازه‌های تداخل و فاصله بر خرابی و آسیب اتصالات پیچ‌دار CFRP/Ti انجام شد. محققان از زیربرنامه ABAQUS USDFLD برای شبیه‌سازی تجزیه و تحلیل سفتی مواد در فرآیند بارگذاری استفاده کردند.



3) ماشین‌کاری با سرعت بالا

ماشین‌کاری با سرعت بالا یکی از حیاتی‌ترین و مفیدترین فرآیندهای براده برداری در صنایع تولیدی است. بنیاد ملی علوم طبیعی چین تحقیقی را در سال ۲۰۱۶ منتشر کرد. این پژوهش بر روی تکامل ریزسختی و اندازه دانه در حین ماشین‌کاری با سرعت بالا با کمک نمونه زیر روال ABAQUS کار کرد. سابروتین VUSDFLD براساس Zener-Hollomon و Hall-Petch برای شبیه‌سازی تغییرات اندازه دانه و ریزسختی در یک تولید سطح ماشین‌کاری شده و بررسی تشکیل تراشه تحت سرعت های مختلف برش توسعه داده شد. شکل زیر، وضعیت تراشه شبیه‌سازی شده در شرایط مختلف برش را نشان می‌دهد.



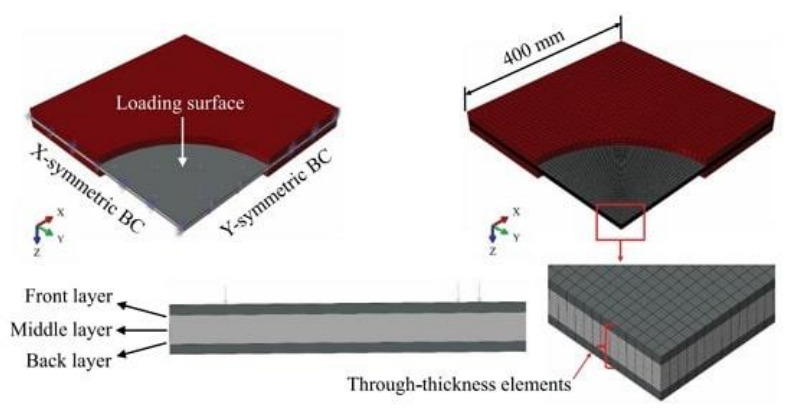
زیربرنامه های DLOAD وVDLOAD

سابروتین‌های DLOAD و VDLOAD برای بار توزیع‌شده توسط کاربر استفاده می‌شود. اولی برای حل‌کننده استاندارد و دومی برای حل‌کننده

صریح است. آن‌ها می‌توانند تغییر اندازه بار توزیع‌شده را به‌عنوان تابعی از زمان، شماره نقطه ادغام بار، موقعیت، شماره عنصر و غیره تعریف کنند.
از کاربردهای این سابروتین‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

1) صفحات فلزی چند لایه

در سال ۲۰۱۹، دانشگاه ایالتی تگزاس ایالات متحده بر روی اثرات بارگذاری ضربه‌ای موضعی مکرر بر روی عملکرد صفحات فلزی چندلایه کار کرد. سابروتین VDLOAD برای شبیه‌سازی پاسخ پلاستیک دینامیکی ساختار و پیش‌بینی حالت‌های شکست و پروفایل‌های تغییر شکل پیکربندی‌های یکپارچه و چند لایه در این آزمایش استفاده شد. شکل زیر منطقه بارگذاری، شرایط مرزی، تولید مش و ابعاد برای یک صفحه چند لایه معمولی را نشان می‌دهد.



2) پره‌های توربین بادی

انرژی باد یکی از مهم‌ترین و امیدوارکننده‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر است. داشتن انرژی باد نیاز به توربین‌های بادی دارد، بنابراین مانند سایر دستگاه‌ها این دستگاه نیز نیاز به تعمیر و نگهداری دارد. در تحقیقات آزمایشگاه مراکش در سال ۲۰۲۰ از سابروتین DLOAD به‌عنوان یک نمونه سابروتین آباکوس برای مدل‌سازی تغییرات بار فشار با موقعیت، استفاده

شد. هدف این تحقیق شناسایی و پیش‌بینی مناطق بحرانی حساس به شکست و آسیب با کمک زیربرنامه ABAQUS بود.

سابروتین UHYPER

برای تعریف رفتار ماده هایپرالاستیک تعریف‌شده توسط کاربر، می‌توان از سابروتین UHYPER استفاده کرد. این سابروتین هم‌چنین، می‌تواند پتانسیل انرژی کرنش را برای رفتار ماده هایپرالاستیک همسان‌گرد تعریف کند. در این‌جا نمونه‌ای از برنامه‌های کاربردی برای سابروتین UHYPER آورده شده است.

1) سیلندرهای دایره‌ای

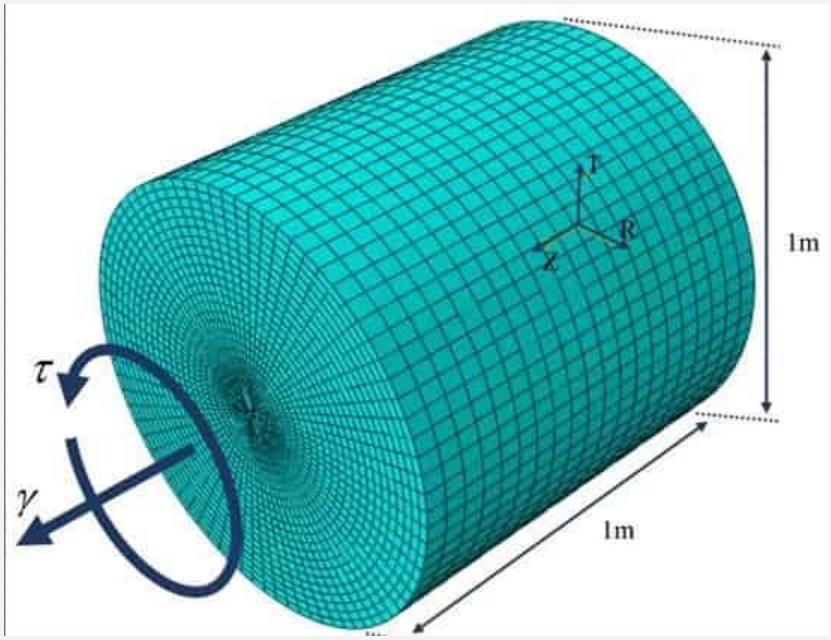
سیلندرهای دایره‌ای تقریباً در همه صنایع مانند نظامی، هوافضا، ساختمان‌سازی و... کاربردهای زیادی دارند. در سال ۲۰۱۹، دانشگاه تگزاس در آرلینگتون تحقیقاتی را ارائه کرد. آن‌ها تجزیه و تحلیل المان محدود را با سابروتین UHYPER و VUMAT برای بررسی پاسخ غیرخطی استوانه‌ای دایره‌ای جامد الاستیک همسان‌گرد تراکم‌ناپذیر تحت پیچش و گسترش ترکیبی توسعه دادند. زیربرنامه UHYPER مواد هایپرالاستیک را برای مدل‌سازنده مبتنی بر exp-exp در این تحقیق تعریف کرد.

سابروتین UEL & VUEL

هنگامی که می‌خواهید توابع مختلف شکل عنصر را تعریف کنید، UEL انتخاب شما خواهد بود. UEL مخفف عنصر تعریف‌شده توسط کاربر است. نسخه V (VUEL) مانند بخش‌های قبلی برای حل‌کننده صریح می‌باشد.

توجه داشته باشید که این سابروتین فقط برای کاربران پیشرفته است؛ زیرا حتی برای ساده‌ترین نمونه‌ها نیز نیاز به کدنویسی قابل توجهی توسط کاربر دارد. هنگامی که از زیرروال UEL استفاده می‌کنید، برای هر عنصر از یک نوع عنصر کلی تعریف‌شده توسط کاربر فراخوانی می‌شود.

این سابروتین کاربردهای عملی زیر را داشته است:



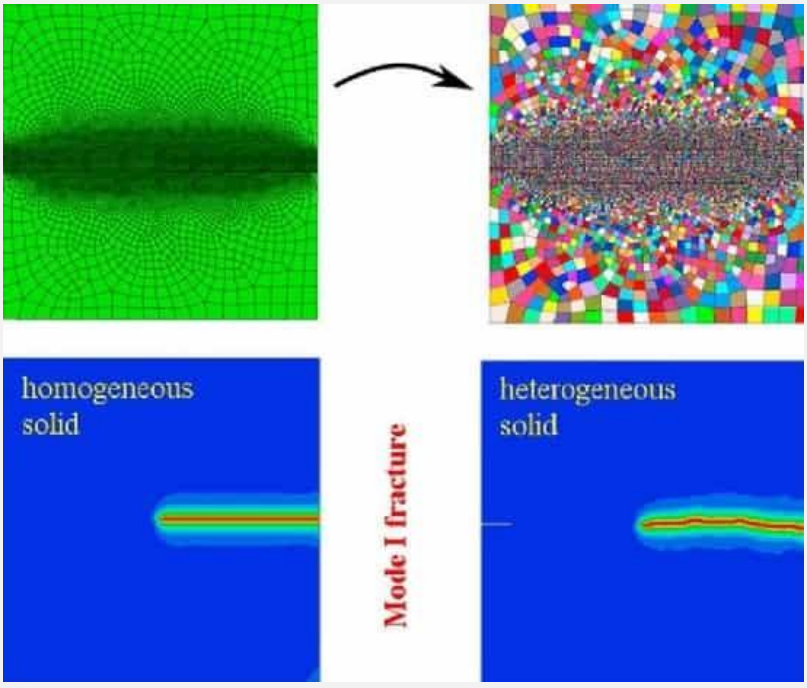
1) ارتباط CAD باABAQUS

برنامه‌های کاربردی آنالیز ایزو هندسی در صنعت از کمبود پلتفرم های نرم افزاری اتوماتیک یا نیمه اتوماتیک رنج می‌برند. دپارتمان مهندسی مکانیک دانشگاه کارنگی ملون آمریکا در سال ۲۰۱۷ تحقیقاتی را برای ادغام ABAQUS با CAD برای ارائه پلتفرمی برای غلبه بر مشکل ذکر شده توسعه

داد. آن‌ها روی این موضوع با مزایای عنصر تعریف‌شده توسط کاربر ABAQUS (UEL)و موارد دیگر کار کردند. شکل زیر نمونه ای از تحلیل کشش خطی را نشان می‌دهد.

2) جامدات ناهمگن و مواد متخلخل

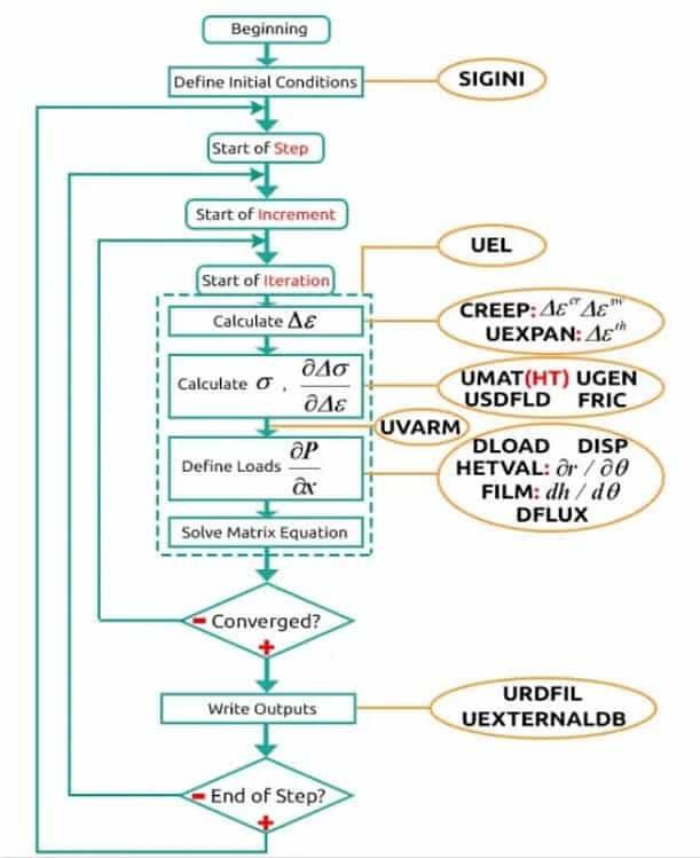
در سال ۲۰۱۸ موسسه مکانیک عمومی، دانشگاه RWTH آخن آلمان، یک مدل شکست شکننده از جامدات ناهمگن و مواد متخلخل را با کمک سابروتین آباکوس UEL بررسی کرد. این سابروتین برای مدل‌سازی فاز میدان مدل‌سازی (PFM) و تئوری محیط متخلخل (TPM) جهت شبیه‌سازی شکستگی شکننده توسعه داده شد.



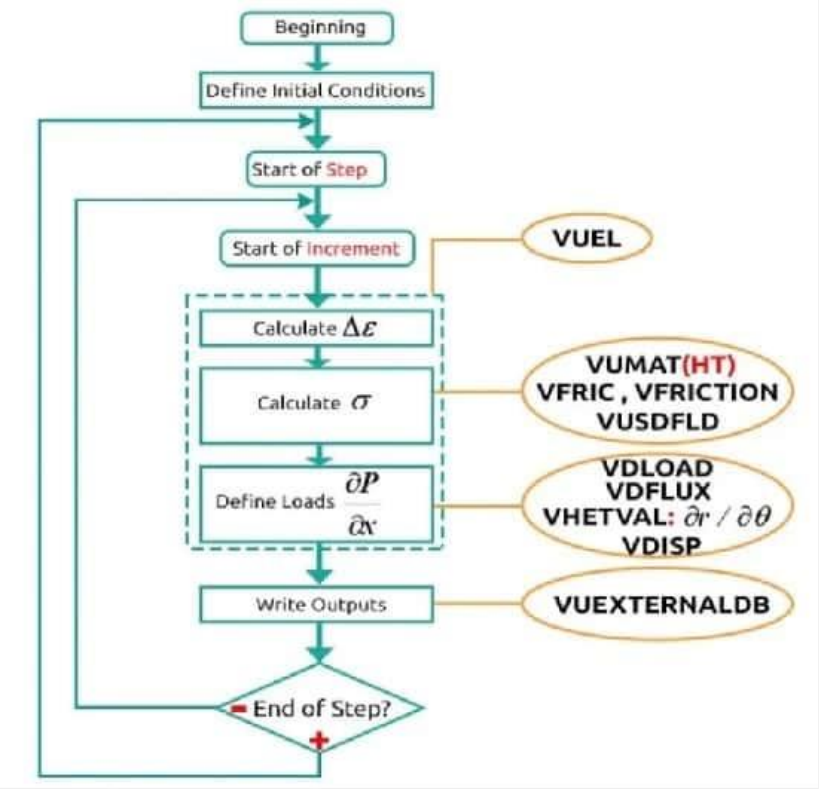
انتخاب سابروتین آباکوس مناسب

ابتدا باید بگوییم که سابروتین آباکوس برای Abaqus/Standard و Abaqus/Explicit در دسترس هستند. به‌عنوان مثال، ما سابروتین DLOAD را در Abaqus/Standard و VDLOAD را در Abaqus/Explicit داریم. این‌جاست که باید تصمیم بگیرید کدام سابروتین پاسخگوی نیاز شماست. در حالی که درک کامل ساختار آباکوس برای توسعه زیرروال کاربر لازم نیست، اگر توسعه‌دهنده حداقل یک دید کلی از ساختار داشته باشد، می‌تواند کمک کند؛ اما داشتن اطلاعات در هنگام نوشتن سابروتین‌های پیشرفته مانند UMAT یا UEL واقعاً اجباری است.

نمودار زیر جریان اصلی داده‌ها و اقدامات از شروع تجزیه و تحلیل Abaqus/Standard تا پایان است:



و این نمودار جریان اصلی در تحلیل Abaqus/Explicit است:



سابروتین آباکوس به برنامه اجازه می‌دهد تا برای برنامه‌های خاصی که از طریق امکانات اصلی Abaqus در دسترس نیستند، سفارشی شود. اگر نمی‌توانید تجزیه و تحلیل خود را با مدل‌های داخلی آباکوس برای مواد، بارها، خواص، عناصر و غیره اجرا کنید، باید یک زیربرنامه کاربر بنویسید. انواع مختلفی از سابروتین در Abaqus استفاده می‌شوند. هر سابروتینی برای بخش خاصی از شبیه‌سازی مفید است که در بخش های قبلی مهم‌ترین آن‌ها را معرفی کردیم.