

INTRODUZIONE ALLA SIMULAZIONE PER ESPERTI NON CAE

63 77 20 78
20 74 65 78
63 72 65 20
62 65 20 63
63 72 74 65
6F 20 60 65
65 63 69 63

C0 00 Arc Grad
0
A9 00 Idx #000
65 2F str RefObjectNumber
A2 02 Idx #002
20 03 C1 Jar SetMObjects
A2 05 Idx #005
95 05 str 001.2
CA dex
70 00 dpi -

R5_CORE_SMP
1374.84DRX

THROUGH : A13

32.1x

SSP

PROCESSING
INPUT

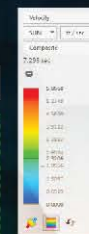
MODEL AUTO
12371 Mhz.



X POSITION : 24.87

Y POSITION : 36.21

Z POSITION : 19.85



C2

VIEW DATA INFORMATION

6.3% AUTOMATIC
3.4% CALCULATED BATTERY (0.0)

MODEL 0042

MODELS AUTO
REAL 12104 M



L'ingegneria meccanica che si occupa di sviluppo di prodotti si divide in tre aree principali: progettazione, simulazione e analisi. Gli esperti non CAE, tra cui manager e ingegneri, possono trovare la simulazione difficile da comprendere, poiché include argomenti complessi, equazioni specializzate e matematica matriciale avanzata.

La simulazione è l'uso di modelli computerizzati per prevedere la risposta di parti, assiemi e disegni e convalidarne le prestazioni negli ambienti operativi, e quindi ottimizzare questi oggetti per ottenere la migliore soluzione possibile.

Gli strumenti di analisi e simulazione sono fondamentali per le organizzazioni che sviluppano prodotti, perché aiutano a ridurre i costi, il peso e i tempi di commercializzazione. Senza simulazione e analisi, i team devono costruire e testare costosi prototipi, potenzialmente molte volte.

Questo eBook permetterà a chi non si occupa di analisi di raggiungere una comprensione maggiore dei compiti e degli output legati al processo di simulazione, inclusa la natura della simulazione nello sviluppo del prodotto. Continuate a leggere per sapere di più su:

- > **Simulazioni di base: strutturale, modale e termica**
- > **Analisi avanzate: dinamica, meccanismi e imbozzamento**
- > **Democratizzazione dell'analisi agli elementi finiti (FEA) per progettisti**
- > **Multifisica e fluidodinamica computazionale (CFD)**

Volete fare i primi passi in un mondo più vasto? Iniziamo!

Parte 1: tipi di simulazioni per manager

È abbastanza comune che chi si occupa di sviluppo di prodotto a livello manageriale non abbia basi di analisi e simulazione. Molto probabilmente proviene da un settore tecnico diverso, come ingegneria elettronica o informatica. O forse prima era program manager, senza background tecnico. Ma questo non è un problema. Nessuno ha l'obbligo di avere una vasta esperienza o anche solo una conoscenza dei campi di specializzazione delle persone con cui lavora. Qui sotto trovate una guida che può aiutare i manager che non hanno conoscenze in campo di simulazione nello sviluppo di prodotto a comprenderne le basi. Diamo un'occhiata ai tre tipi di analisi principali: strutturale, modale e termica



Analisi strutturale

Secondo un professore del MIT "L'ingegneria meccanica è lo studio dell'insuccesso. E alcuni di voi vi faranno i conti molto spesso." È la verità. I progettisti di prodotti sviluppano concept per un prodotto e poi li analizzano e li testano per capire se sopravviveranno o meno nell'ambiente operativo.

Per simulare queste condizioni, gli ingegneri studiano un fattore chiamato sollecitazione, o stress. L'analisi strutturale ci permette di calcolare la sollecitazione. Quando le cose si fanno difficili, spesso si dice "Sono veramente sotto stress", oppure "Sono molto sotto pressione". Nella meccanica, stress (o sollecitazione) e pressione sono strettamente correlati. Entrambi sono legati alla forza per unità area. Hanno la stessa unità di misura, ad esempio libbre per pollice quadrato o newton per millimetro quadrato.

Quando un prodotto viene utilizzato all'interno dell'ambiente operativo, spesso sperimenta forze dette carichi. Questi carichi saranno di tensione (tiranti), compressione (spingenti) o di entrambi i tipi contemporaneamente. Gli oggetti sottoposti a tensione si allungheranno, mentre quelli sottoposti a compressione si accorceranno. Questa variazione di lunghezza è detta spostamento.

Questi carichi e spostamenti provocano sollecitazione. Quando la sollecitazione è inferiore al limite di elasticità, l'oggetto riprende la forma originale in seguito alla rimozione del carico. Quando invece la sollecitazione raggiunge o supera il limite di elasticità, l'oggetto rimane deformato in modo permanente in seguito alla rimozione del carico. Quando la sollecitazione supera la massima resistenza alla trazione o alla compressione, l'oggetto si rompe.

Se la tensione applicata al prodotto è inferiore alla soglia di insuccesso, possiamo calcolare il margine o fattore di sicurezza. Se il prodotto è sovraprogettato, possiamo renderlo più leggero o più sottile, in modo che soddisfi i requisiti. Si tratta di ottimizzare.

Analisi modale

L'analisi modale è lo studio delle frequenze e delle forme a cui un oggetto vibra. Se qualcuno pizzica la corda di una chitarra o la corda di uno stendibiancheria, questa vibra. Nella corda si potrebbero vedere anche onde stazionarie. È un esempio della frequenza naturale e delle forme modali dell'oggetto.

Gli oggetti fisici non hanno solo una frequenza naturale, ma anche frequenze successive più elevate alle quali vibrano. La frequenza naturale e le frequenze successive sono i modi dell'oggetto. I progettisti del prodotto devono conoscere i modi del prodotto per evitare di eccitarlo. Se viene applicata energia in un oggetto o nella vicinanza di uno dei suoi modi, questo vibrerà sempre di più (risuonerà), finché non riuscirà letteralmente a spezzarsi. Ad esempio, se una pompa ruota a una certa frequenza, è preferibile non montarvi componenti vicino a tale frequenza.

Più alta è la frequenza naturale di un oggetto, più l'oggetto è rigido. Le frequenze modali possono aiutare i progettisti di un prodotto a scegliere tra diverse alternative di progettazione. Le analisi modali possono anche essere utilizzate come input per analisi più avanzate, ad esempio analisi dinamiche, che verranno trattate nella sezione seguente.



Analisi termica

È abbastanza ovvio che l'aggettivo "termica" si riferisca alla temperatura. L'analisi termica studia i risultati dei carichi o le condizioni limite che influiscono sul trasferimento del calore verso o da un oggetto. Quando viene applicato calore, l'oggetto si espande. Quando qualcosa si raffredda, si contrae. Come visto prima, quando la lunghezza cambia ("spostamento"), l'oggetto subisce una sollecitazione.

Sono tre i modi in cui la temperatura può essere trasferita verso o da un oggetto:

- > **Conduzione:** significa contatto diretto. Avete mai toccato un piano cottura caldo, un computer portatile vicino alla batteria o il cofano di un'auto dopo un lungo viaggio? Questa è conduzione.
- > **Convezione:** è il trasferimento di calore tramite un fluido, ad esempio l'aria o l'acqua. Chi si è rinfrescato sedendosi di fronte a un ventilatore ha beneficiato della convezione.
- > **Radiazione:** significa scaldare un oggetto tramite onde elettromagnetiche. Si usa la radiazione per scaldare il cibo o per cuocere i pop corn in un forno a microonde.

Gli ingegneri svolgono analisi termiche per calcolare la temperatura finale (detta anche "stato stazionario"), la temperatura nel tempo ("termica transitoria") o la velocità con cui il calore entra o esce da un oggetto ("potenza termica").



Parte 2: analisi avanzata della simulazione

Diamo un'occhiata ad altre tre classi di analisi. Sono un po' più avanzate rispetto a quelle discusse nella sezione precedente, ma sempre utilizzate comunemente. Ecco quali sono:

- > **Analisi dinamiche per carichi che cambiano in funzione di tempo o frequenza**
- > **Analisi di meccanismi per macchine con componenti mobili**
- > **Analisi di imbozzamento per sezioni sottili sottoposte a compressione**

Analisi dinamica

Le analisi dinamiche studiano gli effetti di carichi che possono cambiare, in funzione di tempo o frequenza, nell'ambiente operativo. Questo è in contrasto con le analisi statiche, in cui i carichi sono costanti e dove desideriamo conoscere la sollecitazione o lo spostamento presenti al momento dell'equilibrio (quando tutto è fermo). Ad esempio, un'analisi statica misura quanto il tetto di un'automobile parcheggiata si piega quando su di esso è montato un portabiciclette con due biciclette.

Tipi comuni di analisi dinamiche includono:

- > **Tempo dinamico.** In questi studi, il carico cambia nel tempo e l'obiettivo è generare risultati per le variazioni di sollecitazione, spostamento o altre misure nel tempo. Ad esempio, se un sommergibile scende fino a 1000 metri in 5 minuti, la pressione idrostatica cambia nel tempo. Per vedere gli effetti sulla struttura nel tempo, bisogna eseguire un'analisi del tempo dinamico.
- > **Frequenza dinamica.** In molte macchine con componenti che ruotano od oscillano, i carichi vengono applicati e rimossi in un dato lasso di tempo, detto periodo. La frequenza è l'unità divisa per il periodo. Ad esempio, quando il tachimetro di una vettura segna 3000 giri/min, l'albero motore gira 50 volte al secondo, e questo equivale a una frequenza di 50 Hz; il periodo è di 0,02 secondi. Per studiare la sollecitazione esercitata sull'albero motore dalla biella e dal pistone, bisogna eseguire un'analisi della frequenza dinamica.
- > **Vibrazione casuale.** Guidare su una strada di campagna irregolare o volare su un aeroplano può essere un'esperienza soggetta a urti e scossoni. Però non si può sapere quanto saranno forti gli sbalzi o la turbolenza, e non si possono conoscere i tempi esatti e le frequenze degli urti. Eppure, in alcuni ambienti operativi, è possibile misurare quanti scossoni potranno potenzialmente verificarsi. Gli analisti possono generare un grafico che rappresenti la probabilità degli urti (accelerazioni) sperimentati in funzione della frequenza. È detto Densità spettrale di potenza (PSD) o, più precisamente, tracciato della Densità spettrale di accelerazione (ASD). Queste probabilità possono essere utilizzate come input nell'analisi della vibrazione casuale per ottenere una stima della verosimiglianza con cui un prodotto può sopravvivere a quell'ambiente.





Analisi di meccanismi

Le analisi dei meccanismi studiano il comportamento delle macchine, che sono assieme di componenti in cui alcune parti si possono muovere. Nelle macchine, le parti mobili possono traslare, ruotare o praticare una combinazione complessa di traslazione e rotazione. Possono inoltre essere simulate connessioni avanzate tra i componenti, come camme, ingranaggi, cinghie e pulegge.

Le analisi dei meccanismi possono essere divise in due categorie principali: cinematica e dinamica. La cinematica è lo studio del movimento. Nell'analisi cinematica, gli ingegneri sono solitamente interessati alla posizione, velocità e/o accelerazione dei componenti che si muovono.

La dinamica è lo studio delle forze. In un'analisi della dinamica di un meccanismo, possono essere incorporate entità del mondo reale come molle, smorzatori, gravità e forze esterne. Oltre a posizione, velocità e accelerazione, possono essere misurate anche le forze e le reazioni del componente del meccanismo. Questi risultati possono quindi essere utilizzati come input (insiemi di carico) per le analisi strutturali. Le analisi dei meccanismi possono verificare la collisione fra le parti. A volte è fondamentale assicurarsi che le parti non entrino in

collisione, ad esempio nel caso delle pale rotanti nell'alloggiamento di un tagliaerba. In altri meccanismi, l'esito previsto è un componente che spinge un altro nella parte successiva di una sequenza. Ad esempio, il sistema frenante di un'autovettura sposta dei cuscinetti o delle ganasce per rallentare le ruote sfruttando la frizione.

Possono essere anche generati involuppi di movimento che rappresentano lo spazio nel quale i componenti si muovono durante l'analisi.

Analisi di imbozzamento

Quando una sezione sottile viene sottoposta a compressione, può risultare elastica o cedere al di sotto del limite di elasticità o della massima resistenza alla compressione del materiale, a causa di uno speciale modo di insuccesso detto imbozzamento. Un'analisi di imbozzamento ci permette di studiare questo caso speciale.

Ad esempio, prendete una cannuccia e mettetela in piedi in verticale sul tavolo. Poi schiacciatela. La cannuccia è un esempio di sezione sottile: ha uno spessore ridotto rispetto alla lunghezza. Se la schiacciate verso il basso, si comprime. A un certo punto, in genere si piega bruscamente e rapidamente verso il centro. Questo è l'imbozzamento.

I risultati principali dell'analisi di imbozzamento sono:

- > **Il fattore di carico dell'imbozzamento.** Moltiplicando il carico statico per questo fattore si ottiene il carico critico quando l'oggetto può diventare instabile.
- > **La forma del modo d'imbozzatura,** che indica come e dove l'oggetto probabilmente si muoverà quando sottoposto al carico critico.

Le analisi di imbozzamento vengono spesso effettuate per alloggiamenti strutturali e componenti in lamiera.

Ora che abbiamo trattato l'analisi di base e quella avanzata, vediamo come matematica e scienza ci spiegano una simulazione tramite l'analisi agli elementi finiti.

Parte 3: democratizzazione della FEA per i progettisti

Finora abbiamo visto alcuni dei principali tipi di analisi. In questa sezione, vedremo una breve panoramica di come funziona l'analisi agli elementi finiti (FEA).

Analisi classica rispetto a FEA

Quella che chiamiamo "meccanica classica" utilizza "equazioni in forma chiusa" per calcolare spostamento, forze di reazione, sollecitazioni e altro. "Forma chiusa" significa che per arrivare alla risposta si mettono in relazione varie quantità legate alla forma dell'oggetto, alle proprietà del materiale, ai carichi e così via. Queste equazioni in forma chiusa sono disponibili in manuali come Formulas for Stress and Strain di Roark.

Purtroppo, queste equazioni in forma chiusa funzionano solo per situazioni specifiche, come travature, sbarre, piastre piate, tubi e

recipienti a pressione. Per analizzare prodotti moderni con geometrie complicate, come un blocco motore, l'alloggiamento di dispositivi elettronici personali, attrezzature mediche e così via, non esistono equazioni in forma chiusa.

Esiste un'equazione necessaria per capire la FEA: è l'equazione della forza elastica:

$$F=k \times x$$

Significa che la quantità di forza (F) in una molla è pari alla costante della molla (k) per lo spostamento (x) della molla (quanto si comprime o si estende).

L'analisi agli elementi finiti utilizza un approccio "divide et impera". Scompone modelli con forme complesse in pezzi molto più piccoli, che possono essere tetraedri (piramidi), cunei (prismi) e mattoni (blocchi). Questi piccoli pezzi sono la parte dell'elemento finito della FEA. Le equazioni per le costanti di elasticità, o rigidità, di questi elementi esistono.

Il processo di scomporre una figura complessa in tutti questi elementi più piccoli è detto "mesh". Il software di analisi riunisce gli elementi in quella che viene detta "matrice di rigidità".

Analisi classica vs. FEA

Per preparare una simulazione, vengono definite le forze applicate al modello. Poiché si conoscono la matrice di rigidità e le forze, dovremmo essere in grado di trovare gli spostamenti nell'equazione della molla qui sopra.

Il problema di queste matrici è che sono troppo complesse da risolvere; ci sono più variabili rispetto al numero di equazioni. Però, per preparare una simulazione, vengono stabiliti dei limiti che specificano dove il modello viene tenuto fermo in modo che non si muova. In questi punti, lo spostamento è pari a zero. Questi limiti riducono l'equazione a un numero risolvibile. In questo modo, la FEA trova gli spostamenti degli elementi.

Calcolare le sollecitazioni

Ora che sappiamo cosa sono le sollecitazioni, possiamo calcolare le modifiche della lunghezza di ogni elemento rispetto alla lunghezza originale. Questa proporzione è la deformazione.

Questa quantità è utile perché molti materiali, soprattutto i metalli, dimostrano una relazione lineare tra deformazione e sollecitazione. Moltiplicando questa deformazione per una proprietà del materiale detta Modulo di Young, si ottiene la sollecitazione.

I materiali hanno un valore detto limite di elasticità. Se vengono applicati carichi agli oggetti al di sotto del limite di elasticità, l'oggetto si deforma. Quando viene rimosso il carico, l'oggetto torna alla forma originale. Se vengono applicati carichi superiori al limite di elasticità, l'oggetto si deforma in modo permanente. La maggior parte delle analisi strutturali è valida solo fino al limite di elasticità.

Riepilogo

- > **Applicare le proprietà dei materiali alle parti**
- > **Definire i vincoli entro i quali si impedisce ai modelli di muoversi**
- > **Definire i carichi che imitano le condizioni del mondo reale per l'ambiente operativo**

> Mesh del modello

> Preparare l'analisi ed eseguire la simulazione

> Analizzare i risultati

La matematica alla base della FEA è molto complicata. La simulazione è una tecnica ma anche un'abilità. Un analista deve avere conoscenze, formazione ed esperienza per generare buoni risultati, ma qui offriamo solo una panoramica di base del processo. Scoprire che cosa succede ai prodotti negli ambienti in cui vengono utilizzati è detto convalida del progetto. Una volta ottenuto questo risultato, è possibile ottimizzare i modelli per trovare la soluzione migliore possibile.

Se eseguire analisi della simulazione e convalidare progetti in autonomia vi spaventa, ci sono strumenti software che possono darvi una mano. Esistono due strumenti di simulazione principali nel portfolio PTC Creo: Creo Ansys Simulation e Creo Simulation Live. Vengono utilizzati in tutto il processo di sviluppo per ridurre i costi della prototipazione fisica, i tempi del ciclo di progettazione e il backlog del reparto di analisi.

Creo Ansys Simulation (CAS) integra in modo naturale in Creo la potenza di Ansys, azienda leader nella simulazione ingegneristica. Creato appositamente per progettisti e ingegneri, questo strumento di simulazione completo, ad alta fedeltà e facile da usare si avvale delle funzionalità di Ansys per l'analisi termica, strutturale e modale.

Con Creo Simulation Live (CSL), potete ottenere feedback istantaneo sulle decisioni di progettazione nell'ambiente CAD mentre lavorate. Questa tecnologia all'avanguardia esegue analisi strutturali, termiche e modali sui progetti CAD 3D in pochi secondi. Creata soprattutto per gli ingegneri progettisti, l'analisi si aggiorna dinamicamente in tempo reale mentre gli utenti apportano modifiche, creano nuove feature o cambiano le proprietà. Potete creare velocemente iterazioni, incorporando tutte le modifiche progettuali desiderate, con la sicurezza di aver preso decisioni in base alle informazioni disponibili.

Scoprite di più su CAS, CSL e sulle differenze fra i due prodotti in questo breve video.

>>> ESCLUSIVI VANTAGGI DI CREO:

Creo è la soluzione CAD 3D che permette di accelerare l'innovazione di prodotto per realizzare più velocemente prodotti migliori. Creo è intuitivo e utilizza un approccio basato su modelli per offrire supporto dalle prime fasi di progettazione fino alla produzione e oltre. Grazie alla sinergia fra funzionalità avanzate e collaudate e nuove tecnologie, come la progettazione generativa, la simulazione in tempo reale, la produzione avanzata, l'IIoT e la realtà aumentata, Creo garantisce iterazioni più rapide, riduzione dei costi e migliore qualità dei prodotti. Creo è disponibile anche come prodotto SaaS, in grado di offrire strumenti innovativi basati sul cloud per la collaborazione in tempo reale e una gestione e distribuzione semplificate delle licenze. L'ambiente dello sviluppo prodotto è in rapida evoluzione e solo Creo è in grado di fornirvi gli strumenti innovativi di cui avete bisogno per ottenere un vantaggio competitivo e guadagnare quote di mercato.

Per saperne di più, [contattateci](#) per una dimostrazione di follow-up.



Lingue supportate: portoghese brasiliano, francese, tedesco, cinese semplificato, italiano, cinese tradizionale, coreano, spagnolo, giapponese.



© 2023, PTC Inc. (PTC). Tutti i diritti riservati. Le informazioni contenute nel presente documento sono esclusivamente per scopi informativi, sono soggette a modifiche senza preavviso e non devono essere interpretate come garanzia, impegno o offerta da parte di PTC. PTC, il logo PTC e tutti i nomi di prodotti e i logo di PTC sono marchi o marchi registrati di PTC e/o delle sue consociate negli Stati Uniti e in altri paesi. Tutti gli altri nomi di prodotti o di aziende appartengono ai rispettivi proprietari. I tempi relativi a qualsiasi release di prodotto e qualsiasi funzione o funzionalità sono soggetti a modifica a discrezione di PTC.