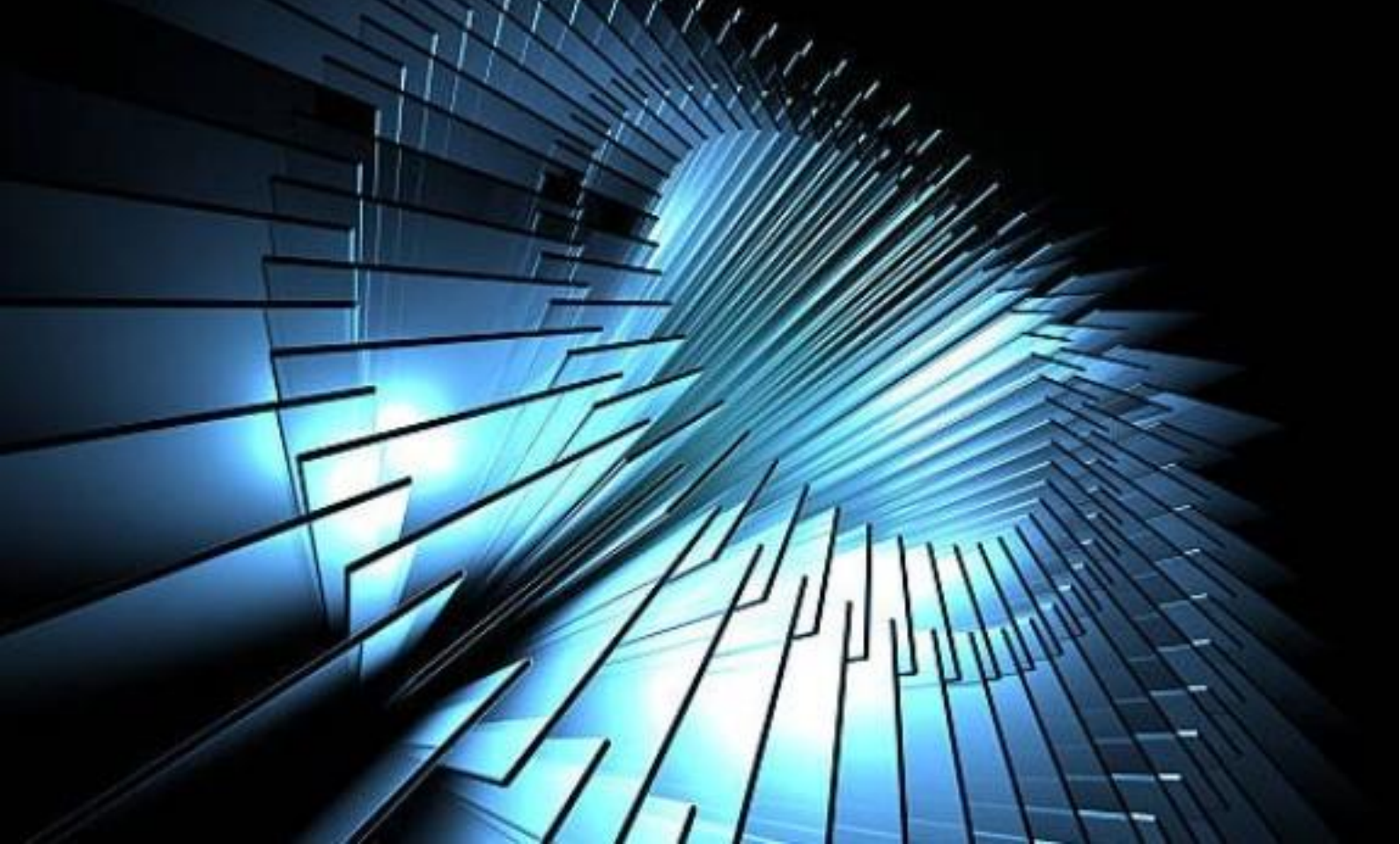


Kanatçıklı disklerin sonlu elemanlar model korelasyonu

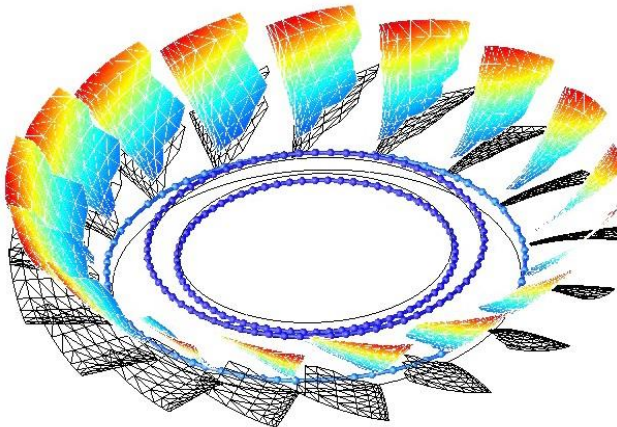
Yakıt tasarruflu türbinler için 3D tarama lazer Doppler vibrometresi

Uçakların yakıt tüketimi, küresel iklim değışikliği ile ilgili güncel tartışmalarda sıcak bir konudur. Önemli bir faktör, uçak motorunun kendisinin tasarımıdır. Ağırlığı azaltmak ve daha ekonomik motorlar oluşturmak için, kanatçıklı disklerin kullanımı daha da yaygınlaşmaktadır. Bu bileşenler, geleneksel parçalar gibi birleştirilmek yerine tek bir parçadan işlenir.



TİTREŞİM TESTLERİ VE MODEL KORELASYONUN GEREKLİLİĞİ

Kanatçıklı diskler ağırlık ve karmaşıklığı azaltır, ancak teknik zorluklar getirir. Tek bir parçadan yapıldığı için son derece düşük sönümlenme gösterirler ve çok keskin, belirgin titreşim rezonanslarına yol açarlar. İdeal bir disk simetriktir, yani tüm sektörler aynı geometri ve malzeme özelliklerine sahiptir. Böyle bir durumda, titreşim modları da simetrik bir davranış gösterir, titreşim enerjisi tüm sektörler arasında eşit olarak dağıtılır. Üretim sürecindeki çok küçük kusurlar rezonansların yanlış ayarlanmasına neden olur. Titreşim ortaya çıkarsa, titreşim enerjisi bir veya birkaç bıçakta yoğunlaşarak yüksek titreşim genliklerine yol açabilir. Çalışma sırasında, bu daha yüksek strese ve nihayetinde bileşenin daha erken arızalanmasına (yüksek döngü yorgunluğu) yol açabilir. Çalışma altındaki gerçek gerilmeleri tahmin etmek için ayrıntılı Sonlu Elemanlar (FE) modellemesi gereklidir.



İlk adım olarak, simetrik bir parça için bir FE modelinin testle doğrulanması gerekir. İkinci adımda, gözlenen hataya göre düzenleme yapılır. Bu nedenle ayrıntılı FE korelasyonu çok önemli bir adımdır ve çok doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekir.

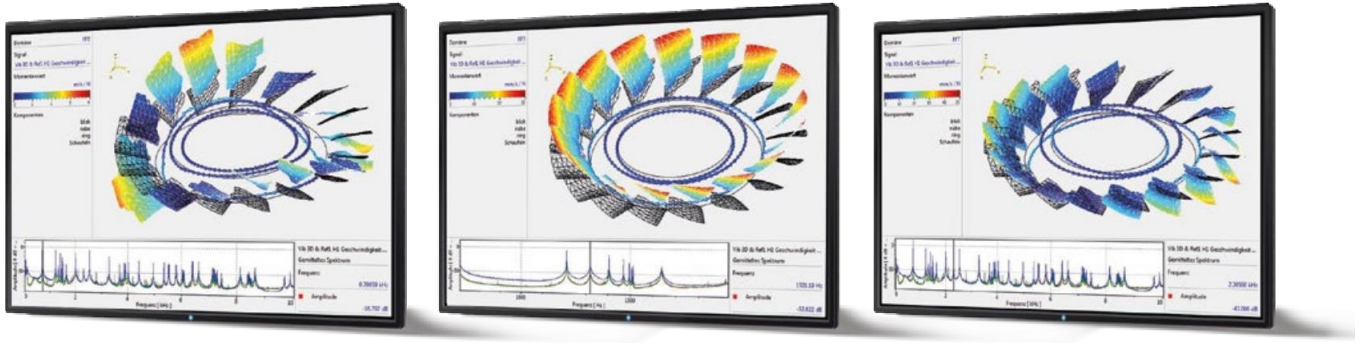
MODEL KORELASYONU İÇİN 3D LAZER DOPPLER VİBROMETRİ

Lazer Doppler vibrometreler, titreşim davranışını gerekli tüm frekans aralığında temassız bir şekilde güvenilir bir şekilde ölçer. İvme ölçerler gibi konvansiyonel temas sensörlerinde olduğu gibi kütle yüklemesi veya artan sönümlenme görülmez. Bu, doğru ve ayrıntılı bir model korelasyonu için zorunlu bir koşuldur. 3D Tarama Lazer Doppler Vibrometreler (3D SLDV'ler) ayrıca tüm frekanslar için eksiksiz 3D sapma şekillerini basit ve doğru bir şekilde verir ve FE modelleri ile korelasyon için kolayca kullanılabilir tam bir veri kümesi sağlar.



Şekil 1: 240 mm çapında bir disk üzerinde 3D Tarama Lazer Doppler Vibrometrenin ölçüm kurulumu

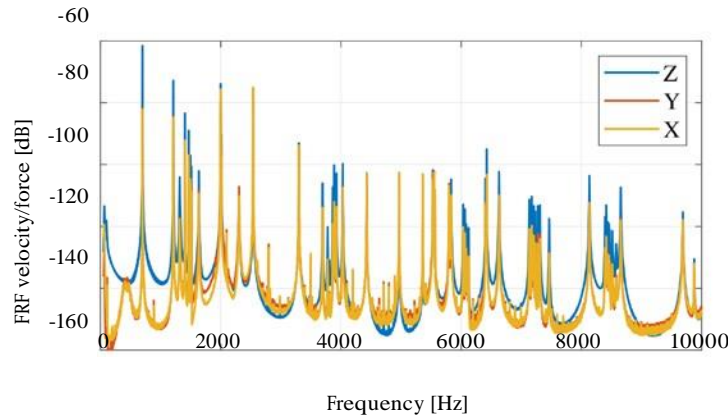
Bu çalışmada, Stuttgart Üniversitesi'nden ITSM tarafından sağlanan 240 mm çapında bir kompresör diski incelenmiştir. Disk, paslanmaz çelikten imal edilmiş ve bu parçaların üretimi konusunda uzmanlaşmış bir şirkette yüksek hassasiyetle işlenmiştir. Yüksek çözünürlüklü bir geometri taraması, sadece 50 um seviyelerinde geometrik sapmalar göstermiştir. Disk, parçayı ortamdaki ayırmak ve desteğin etkisini en aza indirmek için üç küçük lastik ped üzerine yerleştirilmiştir. SAM 1 Ölçeklenebilir Otomatik Modal Çekiç tarafından 20 kHz'e kadar geniş bant uyarımı gerçekleştirilmiştir. Ölçüm için, 3 mW gücünde bir kızılötesi ışık kaynağı kullanan PSV-500-3D Xtra tipi lazer dopler titreşim ölçer kullanılmıştır. Bu, ayrıntılı yüzey hazırlığı ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır ve göze güvenlidir. ▶



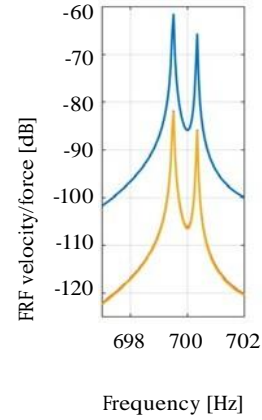
Şekil 2: Diskin transfer fonksiyonu spektrumunun, seçilen sapma şekilleri: soldan sağa 0.7 kHz, 1.3 kHz ve 2.3 kHz'de

SONUÇLAR

Şekil 3, tüm tarama noktalarında ortalaması alınmış ölçülen transfer fonksiyonu (FRF) spektrumunu göstermektedir. Şekil 2'de bazı örnek sapma şekilleri görülmektedir. Şekil 4, döngüsel simetrik yapılar için karakteristik olan, önemli bir parametre olan, disklin çok hafif yanlış ayarlanmasıyla ilgili ilk ipucu veren çift modların frekans ayrılmasını örneklendirmektedir.



Şekil 3: Disk transfer fonksiyonu (FRF) spektrumu



Şekil 4: İki simetrik mod arasındaki hafif frekans kayması gösteren FRF spektrumu

Daha ileri analizler ve FE ile karşılaştırılması için veri seti dışa aktarılır ve modal analiz yazılım paketi PolyWave kullanılarak modal ekstraksiyon yapılır. Bu şekilde elde edilen birinci mod ailesinin modları daha sonra tamamen simetrik bir yapı için FE simülasyonundan modlarla karşılaştırılır.

Tablo 1, test ve simülasyondaki frekansları, farklılıkları ve testten elde edilen sönüm oranını göstermektedir. Veriler, tüm ayrı kanatların aynı ilk eğilme tipi sapma şeklini gösterdiği birinci mod ailesi için gösterilmektedir. Frekanslar, yanlış ayarlanmanın küçük olduğunu gösteren mükemmel bir uyum içindedir. Bununla birlikte, çift modların frekanslarındaki hafif ayrılma (yaklaşık 1 - 2 kHz merkez frekansları için, 0.6 - 3 Hz) mevcut olduklarını gösterir.

Mode	$f_{Esim.}$ [Hz]	$f_{measured}$ [Hz]	Δf [-]	$\xi_{measured}$ [-]
1	701.8	699.5	0.3%	2.8×10^{-5}
2	701.8	700.3	0.2%	2.8×10^{-5}
3	1216.0	1212.1	0.3%	3.4×10^{-5}
4	1216.0	1212.7	0.3%	3.0×10^{-5}
5	1300.4	1320.0	-1.5%	1.5×10^{-5}
6	1408.9	1405.8	0.2%	3.1×10^{-5}
7	1408.9	1406.5	0.2%	2.8×10^{-5}
8	1471.9	1469.2	0.2%	2.8×10^{-5}
9	1471.9	1469.8	0.1%	2.4×10^{-5}
10	1498.0	1495.1	0.2%	2.8×10^{-5}
11	1498.0	1496.0	0.1%	2.8×10^{-5}
12	1510.0	1508.3	0.2%	2.8×10^{-5}
13	1510.0	1508.3	0.1%	2.7×10^{-5}
14	1514.8	1512.9	0.1%	2.7×10^{-5}
15	1514.8	1515.0	-0.0%	2.7×10^{-5}

Tablo 1: Comparing damping ratio of simulation and test results

Bu, testten çıkarılan mod şekillerinin Şekil 5'te gösterilen bir MAC analizi ile FE'den olanlar ile karşılaştırılmasıyla birleştirilir. Her zaman olduğu gibi, 1'e yakın MAC değerleri mod şekillerinde yüksek benzerlik gösterir, daha küçük değerler mod şeklindeki sapmaları gösterir. Düşük dereceli modlar mükemmel korelasyon gösterirken, yüksek dereceli modlardan bazıları daha düşük MAC değerleri göstermektedir.

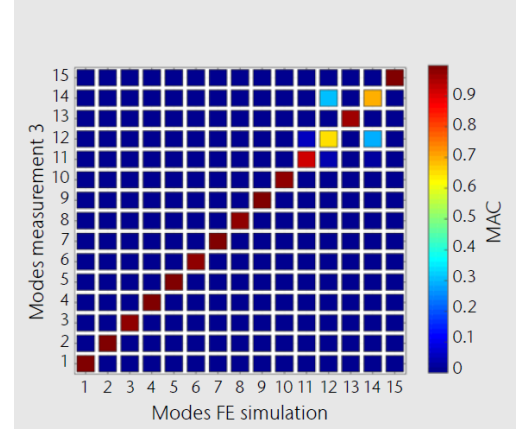
SONUÇ

3D lazer Doppler tarama vibrometrisi, kanatçıklı diskler gibi zorlu nesnelere yüksek kaliteli veriler elde etmek için mükemmel bir yöntemdir. PolyWave kullanarak bulunan modlar, FE modları ile ayrıntılı bir korelasyon sağlar. Simülasyon ve testten elde edilen sonuçlar genel olarak çok uyumludur, simülasyondan ilgili tüm modlar açıkça tespit edilebilir ve frekans bazında uyum çok iyidir. Verilerin ayrıntılı bir analizi, üretilen diskin CAD modelinin idealleştirilmesi için FE modeli tarafından yakalanmayan hafif hataları gösterir.

Daha ayrıntılı bir çalışma, mod şekillerindeki bu sapmaların, mod şekillerinin simetrisini kıran hafif geometrik hatalar ile açıklanabileceğini göstermektedir.

Bu hatalar, çift modların frekans ayrılması ve aynı zamanda titreşim enerjisinin lokalizasyon etkilerini gösteren yüksek dereceli modların mod şekillerindeki farklılıklar tarafından tespit edilebilir.

Sonuçlar, gerçek çalışma koşullarında yüksek döngü yorgunluğunu tahmin etmek için zorunlu olan, bir FE modeli güncellemesine olanak tanır. Şimdiye kadar yapılan analiz, diskin ilk mod ailesinin modları ile sınırlıydı, ancak veriler 10 kHz'e kadar elde edildiğinden, daha yüksek mod aileleri de aynı düzeyde incelenebilir.■



Şekil 5: Modların sonlu elemanlar simülasyonu ve ölçüm MAC değeri karşılaştırması

İletişim

Patrick Buchwald, Christian U. Waldherr
and Damian M. Vogt
Institute of Thermal Turbomachinery
and Machinery Laboratory (ITSM)
University of Stuttgart, Germany

patrick.buchwald@itsm.uni-stuttgart.de

Dr. Jochen Schell
Manager Applications
Dr. Heinrich Steger
Manager Strategic Product Marketing
Polytec GmbH, Germany

info@polytec.de

Referanslar

Patric Buchwald et al.
Paper presented at the APVC conference in Sydney,
Australia, Nov. 2019.