

Auswuchten und Schleudern elastischer Rotoren

Anlagen zum nieder- und hochtourigen Auswuchten und Schleudern HS 16 - HS 34



Hochtourige Auswuchtanlage HS 23 mit Vakuum-Sicherheitsbehälter für Radial-Turboverdichter

Einsatzbereich

- Auswuchten elastischer Rotoren aus Turbomaschinen
 - Dampf- und Gasturbinen
 - Turbogeneratoren
 - Axial- und Radialverdichter
- Auswuchten elastischer Rotoren bei niedrigen und hohen Drehzahlen
- Auswuchten elastischer Rotoren in der Betriebslagerung
- Schleuderprüfung der Rotoren bei Überdrehzahl
- Spezielle Prüfungen an Rotoren aus elektrischen Maschinen
- Runout-Messung

Beschreibung

Die meisten Läufer aus rotierenden Maschinen werden mit den Methoden des Auswuchtens starrer Rotoren ausgewuchtet. Starre Rotoren sind dadurch gekennzeichnet, dass sich ihr Unwuchtzustand über der Drehzahl nicht wesentlich verändert. Auf elastische Rotoren (Läufer aus Turbomaschinen, z.B. Dampf- und Gasturbinen, Turbogeneratoren und Turboverdichter) trifft dies nicht mehr zu.

Elastische Rotoren werden in ihrem Betrieb von mindestens einer kritischen Drehzahl beeinflusst. Viele wellenelastische Rotoren durchlaufen auf ihrem Weg zur Betriebsdrehzahl sogar mehrere kritische Drehzahlen.

In der Nähe der kritischen Drehzahlen verbiegen sich die Rotoren in einer typischen Weise (Eigenform). Dabei entstehen neue Unwuchten, die abhängig von der Drehzahl sind.

Neben den von der Wellenelastizität abhängenden Unwuchten können Unwuchten durch Setzen des Rotors entstehen.

Weil der Unwuchtzustand elastischer Rotoren abhängig von der Drehzahl ist, müssen sie mit speziellen Methoden bis zur maximalen Betriebsdrehzahl ausgewuchtet werden.

Weiterhin interessiert, ob der Rotor einer Beanspruchung bei Überdrehzahl stand hält. Elastische Rotoren müssen deshalb zum Auslösen von Setzungen bzw. zur Überprüfung der Festigkeit über die max. Betriebsdrehzahl hinaus beschleunigt werden.

Dafür werden die Hofmann-Anlagen zum niedrig- und hochtourigen Auswuchten sowie zum Schleudern von elastischen Rotoren HS 16 bis HS 34 eingesetzt. Sie decken Rotorgewichte von wenigen kg bis 100 t ab.

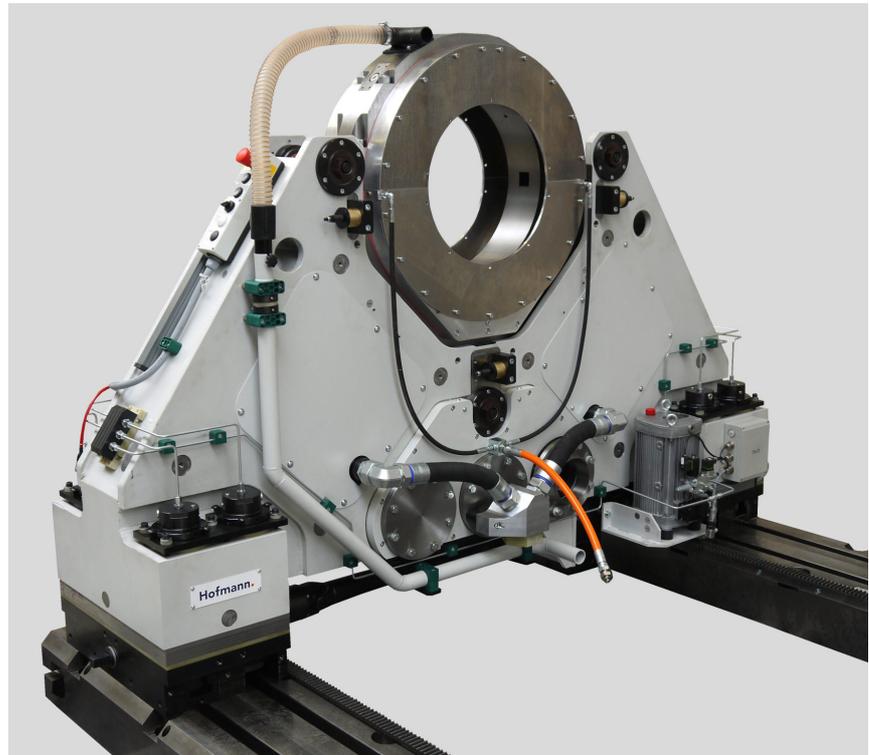
Systemkomponenten

Lagerständer

Beim Auswuchten elastischer Rotoren ist wichtig, dass die Steifigkeiten der Betriebslagerung und der Lagerung in den Lagerständern der HS-Auswuchtanlage ähnlich groß sind. Dann stimmen die kritischen Drehzahlen und vor allem die Biegeeigenformen der auszuwuchtenden Rotoren in den unterschiedlichen Lagerungen gut überein. Somit werden in der Lagerung der Auswuchtanlage genau die modalen Unwuchten identifiziert und ausgeglichen, die den Rotor im Betrieb zu Schwingungen anregen würden.



Lagerständer HS 28 (oben) und HS 23 (unten)



Lagerständer HS 26 mit motorischen Fahrwerk und automatischer Klemmung auf dem Maschinenbett

Beim Durchfahren kritischer Drehzahlen treten hohe Schwingungen und hohe dynamische Lagerkräfte auf. Rotoren können sich bei höheren Drehzahlen setzen und dadurch große Unwuchten erhalten. Die Lagerständer einer HS-Auswuchtanlage müssen deshalb so ausgelegt werden, dass mögliche kritische Betriebszustände sicher beherrscht werden.

Die notwendige hohe Steifigkeit der HS-Lagerständer wird durch die Anwendung des Hofmann Kraftmessprinzips erreicht. Der in den direkten Kraftfluss integrierte Kraftaufnehmer ist hoch empfindlich und hoch belastbar und trägt zur Steifigkeit des Lagerständers bei.

Durch die Abstützung des Lagerkopfs unter 45° ergibt sich eine praktisch isotrope Steifigkeit. Dies vermeidet eine Aufspaltung der kritischen Drehzahlen und

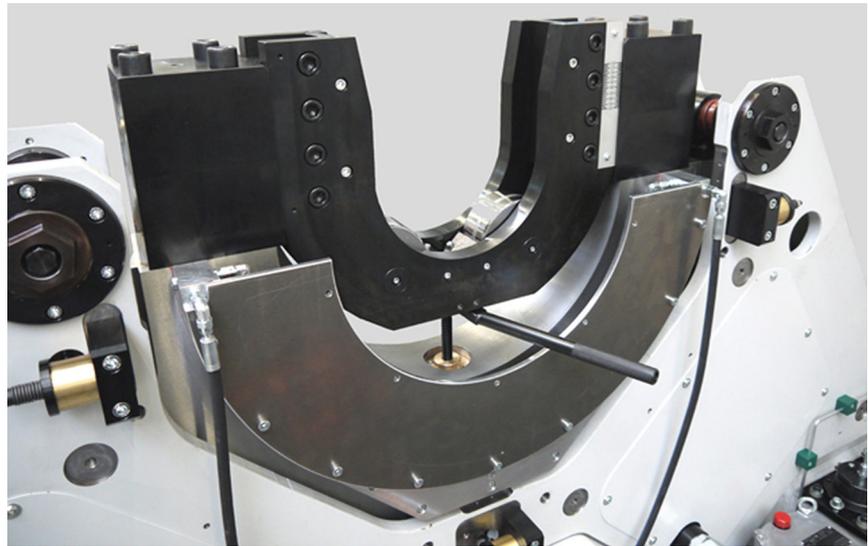
eine damit verbundene unnötige Erhöhung der Komplexität des Auswuchtvorgangs.

Die Neigung der Lagerköpfe kann der statischen Biegelinie des auszuwuchtenden Rotors angepasst werden. Prinzip bedingte Eigenfrequenzen der HS-Lagerständer werden gezielt gedämpft, so dass sie das Auswuchten nicht behindern.

Die Aufnahmebohrung des Lagerkopfes ist hinreichend groß, um auch Radial-Kippsegmentgleitlager mit vergrößertem Außendurchmesser aufzunehmen. Das gleiche gilt für den Ölabfluss, der den gegenüber Gleitlagern mit festen Laufflächen deutlich höheren Öldurchsatz der Kippsegmentlager aufnehmen kann.

Für Hofmann-HS-Lagerständer sind Rollenlagerungen verfügbar. Damit kann eine hochtourige Auswuchtanlage auch zum Auswuchten von Rotoren bei niedrigen Drehzahlen eingesetzt werden. Der aufwändige Einbau des Rotors in Gleitlager entfällt dabei.

Lagerständer HS 28 mit Rollenlagerung für niedrigtouriges Auswuchten



Messen und Überwachen

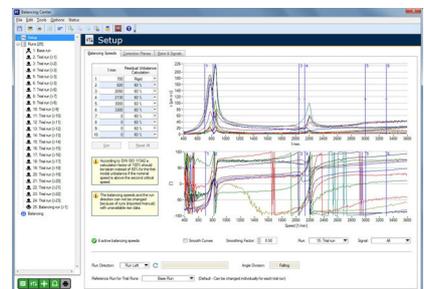
Damit biegeelastische Rotoren über den gesamten Drehzahlbereich ein niedriges Schwingungsniveau aufweisen, werden spezielle Auswuchtverfahren angewendet. Die Hofmann-Unwuchtmesssysteme unterstützen dabei sowohl das modale Auswuchten als auch das Einflusskoeffizienten-Verfahren.

Die Bediener einer HS-Anlage sollen sich voll auf das Auswuchten konzentrieren und nicht von unvorhergesehenen Ereignissen überrascht werden. Deshalb sind die Hofmann-HS-Anlagen mit umfangreicher Sicherheits- und Überwachungstechnik ausgestattet.

Die Systeme bieten u.a. folgende Funktionen an:

- Ermittlung der Unwucht erregten Schwingungen,
- Ermittlung der Schwingungen mit doppelter Rotordrehzahl,
- Darstellung der Messwerte in Unwucht- oder Schwingungseinheiten,
- Darstellung der Messwerte in Polar- oder x-y-Diagramm,
- Vorhersage der Wirkung einer Unwuchtkorrektur,

- Verarbeitung weiterer, außerhalb der Lagerständer aufgenommener Messwerte (z.B. relative Lagerzapfenschwingung oder Schwingung an einer besonders interessanten Rotorposition).



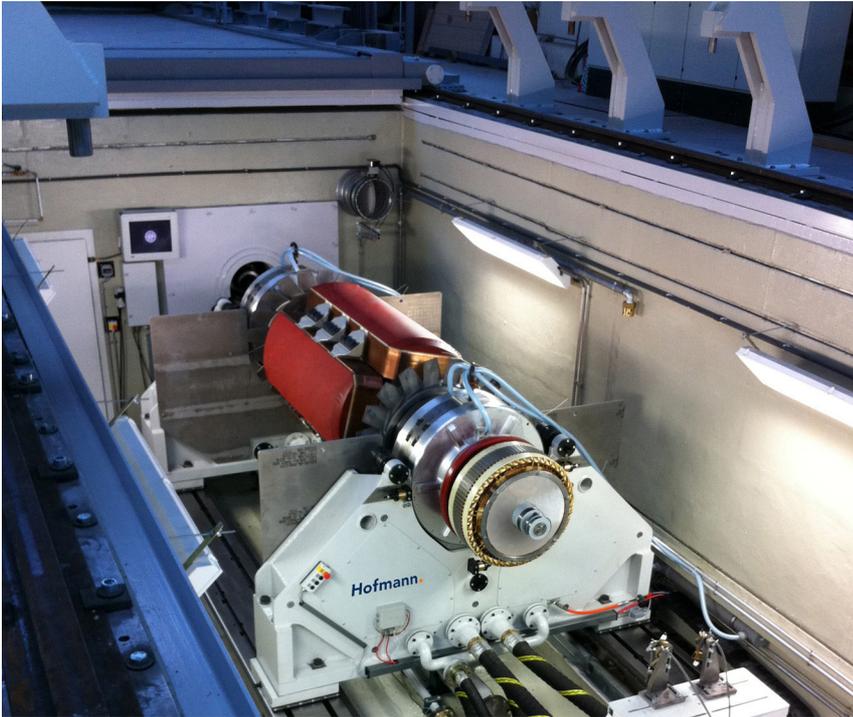
Auswuchten mit Hilfe des Einflusskoeffizienten-Verfahrens



Messwarte einer hochtourigen Auswucht- und Schleudernanlage



MC 10 HS zum Auswuchten elastischer Rotoren mit Hilfe modaler Verfahren



HS 28 für Turbogeneratoren ausgeführt als Grube mit verfahrbarem Deckel.

Antrieb

Das Antriebssystem der HS-Anlagen wird so ausgelegt, dass die Rotoren schnell und sicher auf die geforderten Drehzahlen beschleunigt, vorgegebene Messdrehzahlen konstant gehalten und kritische Drehzahlbereiche schnell durchfahren werden. Das gilt sowohl für das Hochfahren als auch für das Bremsen.

Je nach Rotorprogramm wird ein Getriebe eingesetzt, um die Leistung des elektrischen Antriebsmotors optimal an das Trägheitsmoment, die Reibungsverluste und die max. Drehzahl eines Rotors anzupassen.

Gegebenfalls wird noch eine Zwischenwelle benötigt, die hohe, vom Rotor verursachte axiale Kräfte aufnimmt und die Integration einer Vakuumdichtung ermöglicht.

Die Verbindung zum Rotor stellt eine zuverlässig dimensionierte, hochpräzise Gelenkwelle dar. Bei hohen Drehzahlen werden spezielle hochtourige Hofmann-Membrangelenkwellen eingesetzt.

Sicherheitsbehälter

Beim hochtourigen Auswuchten und Schleudern können sich Teile von den Rotoren lösen oder die Rotoren können bersten. Deshalb muss der Raum um den Rotor als Sicherheitsbehälter ausgeführt werden.

Bei kleineren Rotoren bietet sich die Ausführung der Sicherheitsbehälter mit einer verschiebbaren Stahlabdeckung an, die zum Schließen gegen eine stationäre Stirnwand positioniert wird. Bei größeren Rotorgewichten ab ungefähr 6 bis 8 t wird der Sicherheitsbehälter in Stahlbeton mit begehbarem Rechteck- oder Kreisquerschnitt ausgeführt.

Um den Rotor in einen auf Bodenniveau errichteten Sicherheitsbehälter einzubringen, wird ein spezielles Transportsystem eingesetzt. Dazu wird der Rotor bereits außerhalb des Sicherheitsbehälters in die Lagerständer montiert. Die Ausführung als Grube mit verfahrbarem Deckel erlaubt die Einlagerung des Rotors in die Lagerständer mit einem Kran.

Beschaufelte Rotoren bzw. Rotoren mit Laufrädern erzeugen hohe Ventilationsverluste, wenn sie in normaler Umgebungsluft rotieren. Deshalb werden die Sicherheitsbehälter zum hochtourigen Auswuchten und Schleudern von Turbinen- und Kompressorläufern als Vakuumbehälter ausgeführt. Mit speziellen Vakuumpumpständen werden dann Absolutdrücke von ungefähr 1 mbar erreicht. Die Größe eines Vakuumpumpstands richtet sich nach dem Volumen der zu evakuierenden Sicherheitsbehälter und der gewünschten Evakuierungszeit.

Ölversorgung

Zur Versorgung der Rotorgleitlager und der Lagerungen und Verzahnungen des Antriebs (Motor, Getriebe, Zwischenwelle) werden geeignete zuverlässige Ölstationen vorgesehen. Bei größeren Rotorgewichten werden die Lagerzapfen mit Hilfe einer Anfahrlstation angehoben, um den Rotor praktisch reibungs- und verschleissfrei anzufahren.

Werden die Rotoren im Vakuum ausgewuchtet werden, wird die Versorgung der Rotorgleitlager als spezielle Vakuumölstation ausgeführt. In diesen Vakuumölkreislauf wird auch die Anfahrlstation integriert.

Versorgung im Notfall

Die Rotoren, die in HS-Anlagen ausgewuchtet und/oder geschleudert werden, sind sehr wertvoll. Sie dürfen unter keinen Umständen beschädigt werden. Dies gilt auch bei Ausfall der Stromversorgung.

Dazu muss vor allem die Versorgung der Rotorlager und bestimmter Komponenten des Antriebs mit Schmieröl aufrecht erhalten werden. Die Hofmann HS-Anlagen sind deshalb so ausgelegt, dass ein Rotor selbst bei Netzausfall sicher zum Stillstand gebracht werden kann.

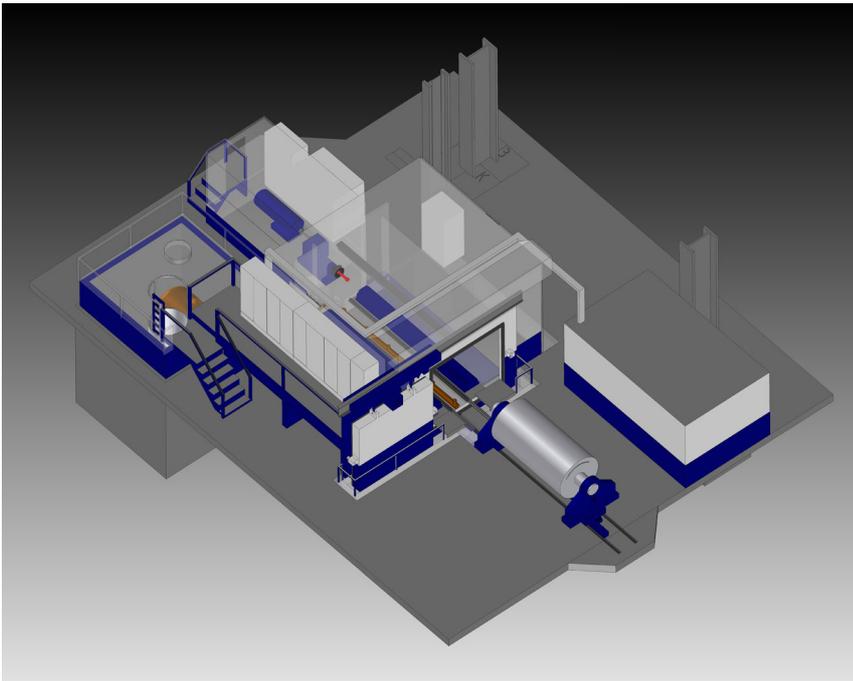
Bei kleinen HS-Anlagen erfolgt dies durch den Einsatz unterbrechungsfreier Spannungsversorgungen (USV), die mit einer genügend großen Batteriekapazität ausgestattet sind. Bei größeren Anlagen übernimmt die USV die Versorgung in den ersten Sekunden nach Netzausfall. Danach wird ein Notstromaggregat eingeschaltet, das auch die Leistungen zur Versorgung großer Pumpen erzeugen kann.



Antrieb mit Motor, Getriebe, Zwischenwelle und Verschiebeeinheit



Vakuumölstation, installiert unterhalb des Vakuumöltanks, und Vakuumölverteilung mit Filterung, Flussüberwachung und Druckregelung



Layout und Planungsunterlagen einer hochtourigen Auswucht- und Schleuderanlage HS 25 mit begehbarem Sicherheitsbehälter aus Stahlbeton

Realisierung

Abhängig von den Planungen unserer Kunden erstreckt sich der Hofmann-Lieferumfang über die reinen auswuchttechnischen Komponenten einer HS-Anlage bis hin zur Verantwortung für die Lieferung und Erstellung einer Gesamtanlage.

Teil des Hofmann-Lieferumfangs sind Ingenieur-Dienstleistungen, die die Planung des Anlagenbereichs sowie die Auslegung und Gestaltung der Sicherheitsbehälter beinhaltet. Das Dienstleistungspaket schließt weiterhin die Baugründung, die Auslegung und Anordnung der notwendigen Ölversorgungs- und Vakuumtechnik, die elektrische Anlagensteuerung und die Anbindung an die vorhandene Infrastruktur ein.

Technische Daten

Anlagentyp	HS 16	HS 18	HS 19	HS 22	HS 23	HS 24
Max. Rotorgewicht [kg]	150	300	700	1.500	3.000	5.500
Max. Rotordurchmesser [mm]	1.260	1.260	1.260	1.260	1.260	1.600
Max. Drehzahl [1/min]	> 50.000	32.000	30.000	22.500	20.000	18.000
Typische Antriebsleistung [kW]	160	200	250	250	315	315

Anlagentyp	HS 25	HS 26	HS 27	HS 28	HS 29	HS 34
Max. Rotorgewicht [kg]	8.000	12.500	20.000	32.000	50.000	100.000
Max. Rotordurchmesser [mm]	2.000	2.250	2.500	3.000	3.200	4.000
Max. Drehzahl [1/min]	15.000	12.000	10.000	8.000	6.000	4.500
Typische Antriebsleistung [kW]	500	500	500	1.000	2.000	4.000

Spezielle Ausführungen sind möglich. Bei Anwendungen für einen größeren Gewichts- und/oder Drehzahlbereich werden in einer Anlage zwei oder mehr unterschiedlich große Lagerständerpaare eingesetzt.

Technische Änderungen vorbehalten!