

Schwingungen sind der Feind aller rotierenden Maschinen und können zu Schwingungsbrüchen führen mit evtl. katastrophalen Folgen.

Obwohl es oftmals sehr einfach ist, Schwingungsbrüche an Hand der sehr glatten Bruchflächen zu erkennen, sind die Ursachen und Frequenzen oft weitaus schwerer zu bestimmen. Meistens ist es eine Verkettung von Ursachen oder einfach statistische Phänomene die zum Schaden führen.

In den meisten Fällen liegt die Ursache dabei nicht am Ventilator, sondern ist eher Systembedingt. (siehe Tabelle 1)

Einige besonders häufig vorkommenden Fälle sollen näher erläutert werden.

1.) Stall (Strömungsabriss)

Bekanntermaßen haben die meisten Axialventilatoren einen Betriebsbereich bei dem die Laufradschaufeln in Stall sind, d. h. die Strömung reißt ab und es bilden sich rotierende Wirbel an den Enden der Laufradschaufel.

Da jedes mechanische Teil eine oder mehrere Eigenfrequenzen hat und die rotierenden Wirbel relativ breitbandig die Schaufeln anregen, kann es zu Schwingungsbrüchen an den Laufradschaufeln kommen. Allerdings können auch andere Teile angeregt werden die dann Schwingungsbrüche aufweisen, wie z. B. Leitwerke und Motortragkonstruktionen. Auch wird häufig beobachtet, dass die erhöhten Schwingungen des Laufrades die Kugellager des Motors angreifen und entweder die Lebensdauer beträchtlich senken oder die Lager zerstören.

Stall kann hervorgerufen werden durch u. a. ungleichmäßige oder rotierende turbulente Anströmung des Laufrades (partieller Stall), falsche Auslegung der Anlage (erhöhter Systemwiderstand), kurzzeitige Erhöhung des Anlagewiderstandes z. B. Blockierungen, oder Rückwärtslauf des Ventilators. Es kann nicht genug betont werden wie wichtig es ist, eine gleichmäßige Strömung vor dem Ventilator zu erreichen, um Probleme mit Stall und Schwingungen zu vermeiden.

2.) Frequenzumformer

Wie erwähnt hat jeder Ventilator ein oder mehrere Eigenfrequenzen. Wenn diese angeregt werden, z. B. durch einen Frequenzumformer, können Schwingungsrisse und -brüche am Ventilator entstehen. Eine Messung der Eigenfrequenzen des Ventilators und des Laufrades und die Sperrung am Frequenzumformer kann dieses Problem minimieren.

3.) Aerodynamische Anregung

Leider wird immer wieder beobachtet, dass Laufräder ungleichmäßig, bzw. von turbulenten Strömungen zu Schwingungen angeregt werden. Verursacher sind typischerweise Systembauteile, wie z. B. Krümmer, Schalldämpfer, Schutzgitter, Klappen, Filter etc. kurz vor dem Ventilator. Die Wahrscheinlichkeit das Schäden auftreten können minimiert werden, indem solche Bauteile in einem ausreichenden Abstand vor dem Ventilator platziert werden und der Luft die Möglichkeit gegeben wird, sich zu stabilisieren. Wer ein Bauteil näher als 10 Bauteildicken (z. B. Kulissenbreiten) vor einem Laufrad einbaut, geht ein Risiko ein.

Vibrations are the enemy of all rotating machines. They can lead to metal fatigue breakdowns with potentially catastrophic consequences.

Normally it is relatively easy to recognize vibration damage by the very smooth nature of the break area. Determining the source and frequency involved is much more difficult. Most often it is a chain of events or simply a statistical phenomenon that causes the damage.

In most cases the damage is not directly caused by the fan, but is system related (see table 1)

Some very common cases are described below.

1.) Stall and Surge

Almost all axial flow fans have an area on their curve where the impeller blades are subject to stall, i. e. rotating eddies and surge are generated at the blade ends of the impeller.

Every mechanical component and part has one or more resonance frequencies. The rotating stall eddies generate a very broadband excitation of the impeller and / or other parts of the system. This can lead to breaks due to metal fatigue in the impeller, associated parts like guide vanes or motor supports. A common observation is how the vibrations of the impeller are transmitted to the bearings of the motor, either damaging them or significantly reducing the operational life span of the bearings.

Stall and surge can be generated by uneven or rotating turbulent flow into the impeller (partial stall), wrong dimensioning of the system (higher than expected system resistance), short-term change of system resistance e. g. blockages or running the impeller in the wrong direction. The importance of even, non-turbulent flow into a fan cannot be stressed enough, when it comes to avoiding problems due to stall and vibrations.

2.) Frequency converter

As mentioned, every fan has its own resonance frequencies. If they are excited, e. g. by the use of a frequency converter, the consequences almost always are fatigue cracks and breaks on the fan. The determination of these resonance frequencies and blocking them in the frequency converter prior to operation is a must to minimize this problem.

3.) Aerodynamic excitation

Unfortunately it can quite frequently be observed that impellers are excited by uneven or turbulent flow. Typically the uneven flow is caused by other components in the systems just in front of the inlet of the fan, such as bends, silencers, grills, dampers, filters etc. The probability that breakdown occur can be minimized by placing such system components far enough away from the fan inlet to allow the air to build up a stable airflow into the fan. To place a component closer than 10 times the component thickness (e. g. splitter thickness) upstream of the impeller is a risk.

4.) Schnelle Belastungsveränderung

Die moderne Regeltechnik oder natürliche Phänomene können sehr schnelle Belastungsveränderungen am Laufrad verursachen. Sehr schnelle Drehzahlveränderungen, wie sie bei Frequenzumformerbetrieb möglich sind, bewirken dass das Laufrad aufgrund der veränderten Fliehkraft permanent ausgeweitet und kontrahiert wird. Ähnliches kann bei sehr schnellen Belastungsänderungen, wie sie z. B. bei Luftkissen-Fahrzeugen beobachtet wurden, auftreten. Solche Belastungsänderungen können zu Ermüdungsbrüchen führen, die nur sehr schwer vorhersehbar sind.

Um Probleme zu vermeiden, sollte man die Geschwindigkeit der Drehzahlveränderung auf maximal $0,45 \text{ rad/s}^2$ begrenzen und spätestens nach $0,5 \times 10^6$ Belastungsveränderungen das Laufrad wechseln.

5.) Parallelbetrieb

Parallelbetrieb von Ventilatoren kann zu kritischen Betriebspunkten führen. Dies gilt sowohl bei Axial- als auch bei Radialventilatoren. Die Folge ist ein „Pumpen“ des Ventilators zwischen zwei Betriebspunkten mit überhöhten Schwingungswerten und Schäden am Gerät. Das Problem kann am besten durch eine geeignete Auswahl der Ventilator-Kennlinien gelöst werden.

6.) Unwucht

Ein Laufrad kann im Betrieb unwuchtig werden. Häufige Ursachen sind Verschmutzungen, Abrasionen oder mechanische Schäden. Eine regelmässige oder besser permanente Schwingungsüberwachung hilft Probleme frühzeitig zu erkennen und Folgeschäden zu vermeiden.

Auslegungshinweise

- Alle Ventilatoren sollten nach Einbau auf Schwingungen überprüft und die Werte protokolliert werden.
- Kritische Maschinen sollten permanent schwingungsüberwacht werden und bei Veränderungen (besonders schnelle Veränderungen) sofort die Ursache ergründet werden.
- Alle Eigenfrequenzen bei Frequenzumformerbetrieb müssen bestimmt und gesperrt werden.
- Störungen der Anströmung mindestens 2 x Durchmesser, am besten 4 x Durchmesser vor dem Ventilator sind zu vermeiden.
- Ungestörte Abströmungen so weit wie möglich gewährleisten, z. B. mit Difusoren oder Düsen.
- Schnelle Regelungsänderung, z. B. schneller als $0,45 \text{ rad/s}^2$ vermeiden.
- Nach 0,5 Millionen Belastungsänderung das Laufrad austauschen (entspricht 2 Jahre à 4000 Stunden und einer Änderung pro Minute).
- Parallelbetrieb besonders sorgfältig auslegen und die Ventilatorkurve gesondert betrachten.

4.) Rapid load changes

Modern control technology or natural phenomena can lead to very rapid load changes on the impeller. For example the very quick speed changes made possible by the use of modern frequency converters result in the impeller constantly trying to become larger and then shrink due to the centrifugal forces. Similar, very quick load changes, have also been observed on e. g. Hoover crafts or surface effect ships (SES). It has also been observed, that frequency nonetheless can initiate torsional resources at the fan shaft. Load changes like that can lead to fatigue breaks that are very difficult to predict.

To avoid problems the rate of acceleration of impellers should be limited to no more than 0.45 rad/s^2 and after 0.5×10^6 load changes the impellers should be exchanged.

5.) Parallel operation

Parallel operation of fans can lead to different operating points that act upon the individual impellers. This problem occurs for axial as well as for centrifugal fans. The consequence is that the fans start "surging" and this may lead to breakdown. The problem can easily be solved by selecting a system curve which has only one intersection with the sum curve of the fans.

6.) Imbalance

An impeller may be, or over time come, out of balance. The most common reasons are dirt, abrasions or mechanical damage to the impeller. A regular check or even better a permanent vibration monitoring allows for early problem identification and rectification with little or no secondary damages.

Design guidelines

- The vibration level of the fans must be controlled and recorded after installation.
- Critical machines should be permanently controlled by vibration monitors. If a change occurs (especially a rapid change) the reason must be identified.
- When operating on a frequency converter all resonance frequencies must be identified and blocked on the converter.
- System components in front of the fan inlet should be at least 2 times diameter, or even better 4 times diameter away from the fan.
- Uninterrupted flow out of the fan should be ensured e. g. by the use of diffusers or outlet cones.
- Rapid accelerations / decelerations (speed changes) should be avoided. A maximum of 0.45 rad/s^2 can be used as a guideline.
- After 0.5 million load changes, the impeller should be replaced (corresponding to 2 years of 4000 hours operating time per year and one load change per minute).
- Parallel operation must be designed very carefully and the fan curves especially selected.