

Echtzeitmessung von Maschinenfluchtung

Claus Richter, Gerd Häusler

Max Planck Forschungsgruppe

Institut für Optik, Information und Photonik

Universität Erlangen

<mailto:crichter@optik.uni-erlangen.de>

Um die engen Fertigungstoleranzen beim Schwungradreibschweißen einzuhalten, muss die Maschine exakt ausgerichtet werden. Wir präsentieren ein Messsystem, um die Achsfluchtung beider Spindeln der Maschine vor und während des Schweißvorganges mit hoher Genauigkeit zu messen.

1 Einführung

Es wird ein Verfahren vorgestellt, um die Maschinenachsfluchtung einer Schwungradreibschweißanlage vor und während des Schweißprozesses zeitlich aufgelöst zu vermessen.

Die Anlage wird für das präzise Verschweißen von Flugzeugturbinenkränzen für die Luftfahrtindustrie eingesetzt. Beim Schwungradreibschweißen wird ein rotierendes Werkstück mit hohem Druck auf ein statisches Bauteil gepresst. Durch Schwungmassen wird die benötigte Energie bereitgestellt, um die Bauteile durch die Reibungshitze miteinander zu verschweißen.

Da die Turbinenkränze immer größer werden, muss auch die Leistung der Reibschweißanlage gesteigert werden. Die neu konstruierte Anlage erzeugt einen maximalen Stauchdruck von 1000 t und ein maximales Drehmoment von 1 MNm. Durch Inhomogenitäten des zu verschweißenden Materials kommt es dabei zu Querkräften von bis zu 150 t.



Abb. 1 Bild der neu entwickelten Reibschweißanlage

Zusätzlich werden die Fertigungstoleranzen immer geringer. Zum einen soll die Effizienz der Turbinen gesteigert werden, um den Spritverbrauch und damit die Betriebskosten zu senken. Zum anderen soll die benötigte Zeit für Nacharbeiten an den verschweißten Turbinen verringert werden. Diese Nacharbeiten sind auf Grund der geometrisch komplizierten Formen der Turbinenkränze schwierig und sehr zeitaufwändig.

Bei der neu entwickelten Anlage, die Bauteile bis zu einem Durchmesser von 650 mm verschweißt, dürfen die verschweißten Bauteile einen maximalen Achsversatz von 45 μm und einen maximalen Winkelversatz von 7" aufweisen.

2 Anforderungen

Um für den industriellen Einsatz geeignet zu sein muss das entwickelte Messkonzept hohen Anforderungen genügen.

Der Winkelversatz muss unabhängig vom Achsversatz gemessen werden können. Dies ist wichtig, um vor dem Schweißprozess die Maschinenspindeln optimal auszurichten.

Zur Klassifizierung des Schweißprozesses soll die Messung auch während der Schweißung durchgeführt werden. Daher ist auf eine hohe Messfrequenz zu achten.

Zudem kann in dem rotierenden Futter nur ein passives Element eingebaut werden.

3 Messprinzip

Das Messprinzip kombiniert ein photogrammetrisches Verfahren zur Vermessung des Achsversatzes mit einem deflektometrischen Verfahren zur Vermessung des Winkelversatzes. Im rotierenden Futter ist ein Spiegel S mit einem aufgeklebten retroreflektierenden Ring R eingebaut. In dem statischen Futter ist eine Kamera samt Optik und einem Ringlicht L integriert (siehe Abb. 2).

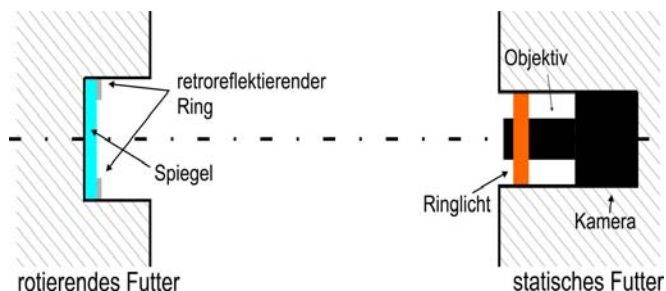


Abb. 2 Schematische Darstellung des Messsystems

Im Kamerabild (Abb. 3) sieht man sowohl das gespiegelte Bild des Ringlichtes L, als auch das Bild des Ringes R.

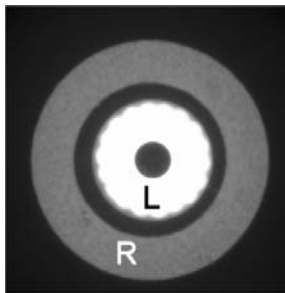


Abb. 3 Kamerabild des Ringlichtes L und des Ringes R

Der Ring ist hierbei der photogrammetrische Teil des Aufbaus. Ein Achsversatz einer der beiden Maschinenspindeln bewirkt eine Verschiebung des Bildes des Ringes R. Da bei einer Verschiebung die Verkippung des Spiegels konstant bleibt, ändert sich der Reflektionswinkel und demnach die Lage des Bildes des Ringlichtes nicht.

Das Bild des Ringlichtes bildet mit dem Spiegel ein Deflektometer. Bei einer Verkippung des Spiegels ändert sich der Reflektionswinkel und die Lage des Bildes des Ringlichtes verschiebt sich. Da die Verkippungen sehr klein sind ($\ll 1'$) ändert eine Verkippung die Lage des Bildes des Ringes nicht und das Bild bekommt auch keine elliptische Form.

In Abbildung 4 sind die Auswirkungen eines Achsversatzes und eines Winkelversatzes zusammengefasst.

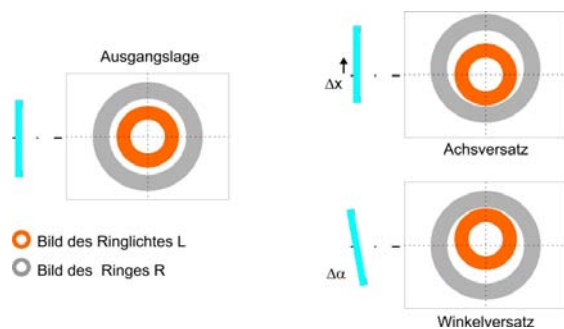


Abb. 4 Einfluss von Achsversatz und -verkippung auf das Kamerabild

4 Auswertung

Um den Achsversatz und den Winkelversatz zeitlich aufgelöst zu vermessen, wird für jedes Bild die Lage des Mittelpunktes für beide Ringe im Kamerabild ermittelt. Aus der zeitlichen Veränderung der Mittelpunktslage können dann mit den Umgebungsparametern (Brennweite Objektiv, Abstand Kamera – Spiegel,...) die Veränderungen des Achs- und des Winkelversatzes berechnet werden.

Dieses System misst die zeitliche Veränderung der Lage beider Maschinenachsen zueinander. Eine absolute Messung ist nicht möglich.

Bei gängigen Umgebungsparametern bewirkt ein Achsversatz von $45 \mu\text{m}$ eine Verschiebung des Mittelpunktes um deutlich messbare $0,32$ Pixel. Ein Winkelversatz von $7''$ bewirkt eine Verschiebung des Mittelpunktes um $0,37$ Pixel.

5 Fazit

Mit dem vorgestellten Messprinzip ist es möglich, die relative Änderung der Lage zweier Objekte bezüglich Versatz und Verkippung zeitlich aufgelöst zu bestimmen. Die Messfrequenz beträgt 50 Hz.

In der vorgestellten Applikation soll das Messsystem die Lage der beiden Maschinenachsen einer Reibschweißanlage messen. Messungen an der Anlage liegen noch nicht vor, da diese erst kurz vor der Fertigstellung ist.

Testmessungen im Labor haben gezeigt, dass die Messunsicherheit weniger als $2 \mu\text{m}$ für den Achsversatz und etwa $2''$ für den Winkelversatz beträgt.

Das System ist nicht auf diese Applikation beschränkt sondern kann für verschiedenen Anwendungen adaptiert werden. So konnte bei einem mechanischen Schwenkarm die Verschiebung der Rotationsachse während seiner Drehung gemessen werden (Abb. 5).

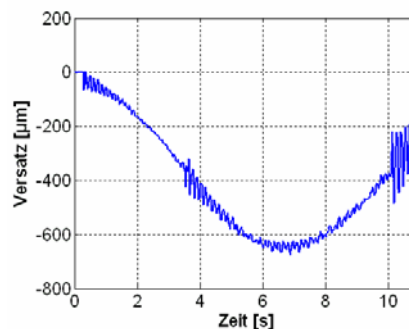


Abb. 5 Achsversatz eines Schwenkarmes während seiner Rotation

Zusätzlich zu der Verschiebung treten mechanischen Schwingungen auf, die durch die angebaute Motoren verursacht werden. Die Amplitude dieser Schwingungen so wie das zeitliche Abklingen konnten ebenfalls gemessen werden. Mit Hilfe dieser Messungen konnten Aussagen über die Steifigkeit des Systems getroffen werden.

6 Acknowledgement

Diese Arbeit wird von der Bayerischen Forschungsförderung gefördert (AKZ: 621/04).

Projektpartner sind MTU Aero Engines, KUKA Schweißanlagen und das Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Universität München.