

# LABOR-BESTIMMUNG DER RISSBILDUNG UND -AUSBREITUNG AUF GRUND VON ÄNDERUNGEN DER EIGENSCHWINGUNGSZAHL

Von

O. SZAMOSVÖLGYI und G. KELEMEN

Lehrstuhl für Maschinenelemente, Technische Universität, Budapest  
(Eingegangen am 17. November 1967)

Vorgelegt von Prof. Dr. J. Vörös

Aus den Erfahrungen von Vorversuchen zur Ermittlung der Dauerfestigkeit ging hervor, daß sich der Makroriß — gemessen an der dem Bruch zugeordneten Lastspielzahl — nicht einheitlich einstellt. Er hängt von der Größe und Art der Belastung, von der Beschaffenheit und vom Aufbau des Werkstoffes sowie von der Gliederung und Form des Probestabes selbst ab. Die Versuche verfolgten das Ziel, ein Verfahren zu entwickeln, welches es gestattet den Riß bzw. dessen Ausbreitung ohne Unterbrechung des Versuchs zu bestimmen. Die Untersuchungen wurden an Kurbelwellenmodellen vorgenommen, deren Abmessungen aus Abb. 1 hervorgehen. Die Versuche wurden mit einer im Lastbereich von  $\pm 10$  Mp arbeitenden Prüfmaschine Typ 10 HFP 422 Fabrikat Alfred J. Amsler & Co., Schaffhausen (Schweiz) durchgeführt.

Für diese Dauerschwingfestigkeitsprüfungen mußte eine Vorrichtung konstruiert werden, die sich zum zweckmäßigen Einspannen der Kurbelwellenmodelle und zu ihrem Einsetzen in die Prüfmaschine sowie zu pulsierender Beanspruchung eignete. In diese, in Abb. 2 dargestellte Vorrichtung wurden die Kurbelwellenmodelle lotrecht eingespannt. Die Dauerbeanspruchung wurde durch ein mit Gewinde versehenes Verbindungsstück (in der Abbildung mit *a* bezeichnet) auf die Druckplatte *b* übertragen. Die mit dem Kurbelwellenzapfen in Berührung kommende Druckplattenfläche war ebenso gehärtet wie die Oberflächenteile der in den Schalen *c* gebetteten Hauptzapfen der Kurbelwellenmodelle. Die gleichen Oberflächenteile von Druckplatte und Schale waren konkav ausgebildet, u. zw. mit einem größeren Krümmungshalbmesser als die Zapfen. Damit sollten Druckverhältnisse nachgeahmt und verwirklicht werden, wie sie sich bei Gleitlagerungen ergeben. Die Lager *c* ruhten auf je 4 im Durchmesser 8 mm messenden Zylinderwalzen *d*, die ihrerseits auf die vergüteten, flach bearbeiteten Flächen der Führungssohlen *e* abgestützt waren. Diese letzteren waren mit je zwei Halbrundkopfschrauben (*g*) auf der Grundplatte (*f*) befestigt. Zur Unterbringung der Tragplatte des Dynamometers befand sich auf der Grundplatte eine Vertiefung mit einem Durchmesser von 135 mm. Die Lastrichtung ist in der Abbildung durch Pfeile angegeben. Unter der Belastung erleidet das Kurbelwellenmodell eine Verformung, die ihrerseits

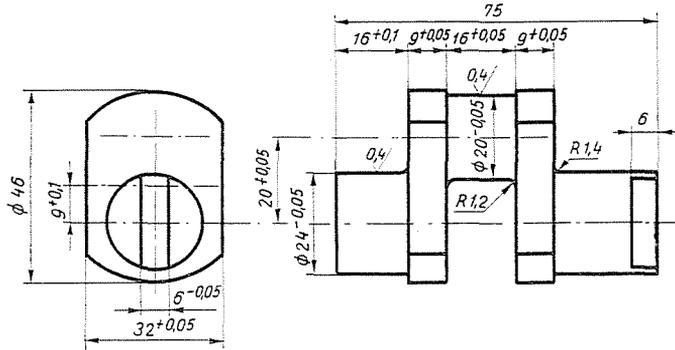


Abb. 1. Die Abmessungen des untersuchten Modells

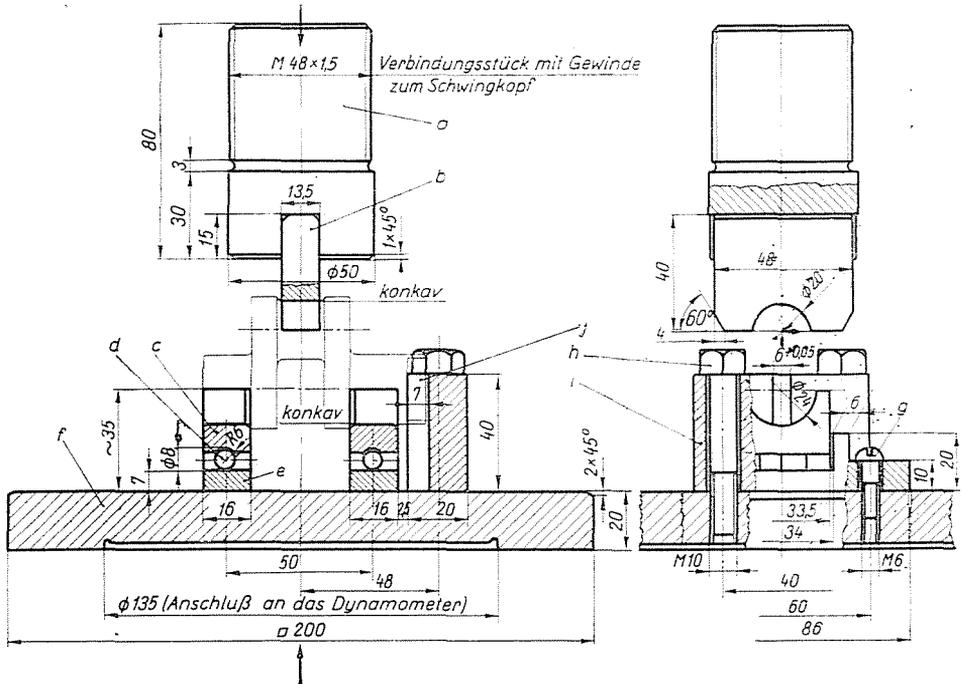


Abb. 2. Die Einspannvorrichtung für den Dauerschwingversuch

eine axiale Verschiebung auf den Unterstützungswalzen auslöst. Auf der Grundplatte *f* waren mit je einer M-10-Sechskantschraube *h* zwei Führungsböcke *i* befestigt, in deren Nuten *j* die Führungsenden der Hauptzapfen des Modells mit lockerem Sitz eingriffen, so daß die Kurbelwellen lotrecht standen. Die Abb. 3 zeigt eine Aufnahme der Dauerprüfmaschine mit der eingebauten Biegevorrichtung und dem Kurbelwellenmodell.

Die Dauerprüfmaschine und die benützten Instrumente sind aus Abb. 4 ersichtlich. Auf dem Betonblock *a* steht der mechanische Teil *b* des Dauerprüfsystems. Die elektronische Steuerung ist im Schrank *c* untergebracht.

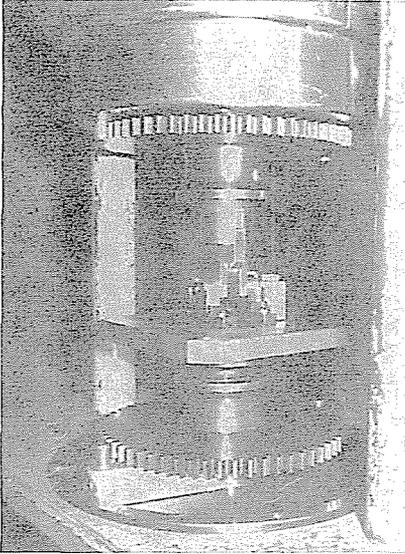


Abb. 3. Dauerschwingprüfmaschine

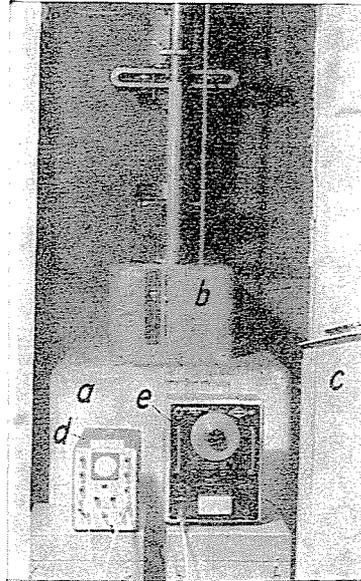


Abb. 4. Die Dauerschwingprüfmaschine mit den Instrumenten

Den Verlauf des Versuchs zeigen das Oszilloscop Fabrikat Orion EMG Typ 1534 (*d*) und der RC-Generator (*e*) Fabrikat Radelkisz Typ 911-090 an.

Die beschriebene Versuchsanordnung fußte auf der Überlegung, daß die Schwingungszahl des mechanischen Teiles der Dauerprüfvorrichtung zusammen mit derjenigen des eingebauten Probestabes bestimmt ist und erst dann eine Änderung erfährt, wenn sich das Schwingungssystem in irgendeinem seiner Teile ändert. Bei richtigem Einspannen und richtigem Betrieb kann diese Änderung nur im Probestück selbst auftreten. Die automatische Verstärkung ihrer elektrischen Steuerung sorgt für die Konstanthaltung der Belastung auf der Dauerprüfmaschine, diese Konstanthaltung ist also mit keinerlei Änderung der Schwingungszahl verbunden. Sobald jedoch am Probestück ein Riß entsteht, ändert sich je nach dessen Größe auch die Schwingungszahl des Systems. Nachzuweisen ist also die Art und Größe dieser Änderung. Das Dynamometer der Dauerprüfmaschine schwingt mit der gleichen Zahl und Art von Schwingungen wie das System selbst. Ein Signal, welches dem zur Steuerung des elektrischen Systems hier eingebauten Induktionskopf entnommen wird, lenkt den lotrechten Eingang der Oszilloskops ab. Legt man

ein von einem Generator mit veränderlicher Frequenz geliefertes gleich starkes Signal gleicher Frequenz an den waagrechten Eingang des Oszilloskops, dann erhält man auf dessen Bildschirm ein Kreisdiagramm. Tritt nun zwischen den beiden Eingangsfrequenzen ein Unterschied auf, beginnt sich dieses Kreisdiagramm um seine lotrechte Achse zu drehen. Bei einer Verdrehung um  $45^\circ$  und

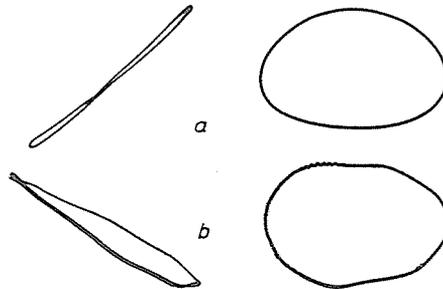


Abb. 5. Bilder am Schirm des Oszilloskops

bei rein sinusförmiger Schwingung schrumpft das Bild des Kreises zu einer Geraden zusammen. Jede Abweichung von dieser Geraden entspricht einer Verschiebung der Maschinenschwingungen von ihrer reinen Sinusform. Durch Änderung der Generatorfrequenz läßt sich diese Verschiebung abstellen, wobei man die jeweilige Frequenz des Generators von diesem ablesen kann. Die

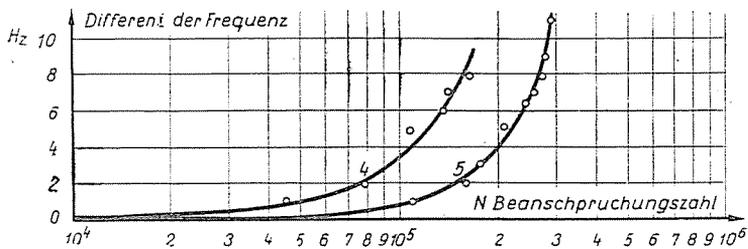


Abb. 6. Zusammenhang zwischen Frequenzänderung und Lastspielzahl

Abb. 5a veranschaulicht das kreisförmige Diagramm, wie es sich zu Beginn des Dauerschwingversuchs abzeichnet, und dasselbe Diagramm nach seiner Verdrehung um  $45^\circ$ . Während des Dauerschwingversuchs hat man die Möglichkeit, das kreisförmige Diagramm bei den unterschiedlichen Lastspielzahlen in die stehende Lage zu bringen und die zugehörigen Generatorfrequenzen abzulesen, d. h. bis zum Bruch die Frequenzänderungen in Abhängigkeit von der Lastspielzahl zu messen. Während des Dauerschwingversuchs ändert sich bis zum Eintritt des Bruchs auch die Gestalt des Kreisdiagramms. Seine Lage vor

dem Bruch und das um  $45^\circ$  verdrehte Diagramm ist in Abb. 5b dargestellt. Die Änderung vom Beginn bis zum Ende des Dauerschwingversuchs ist deutlich zu erkennen. Die Abb. 6 zeigt den funktionellen Zusammenhang zwischen den Frequenzen am Kurbelwellenmodell und der Lastspielzahl.

Die hinsichtlich der Biegebeanspruchung schwächste Stelle des Kurbelwellenmodells ist der Übergang zwischen Kurbelwellenzapfen und -arm in Richtung des Hauptzapfens. Die Risse gingen jedesmal von dieser Stelle aus und griffen von hier aus auf den Kurbelarm über. Die Abrundungen an den beiden Enden der Kurbelwellenzapfen — die Stellen des Überganges zu den Kurbelarmen — waren bei den Versuchen mit einer dünnen Schicht Öl (Qualität MM 60) überzogen, an der sich beim Auftreten des Makrorisses Änderungen zeigten. An der Rißstelle erschien ein winziger weißer Fleck, der sich aus kleinsten Bläschen zusammensetzte. Der Fleck konnte weggewischt werden, nach kurzer Zeit zeigte sich jedoch in der Ölschicht von neuem ein Bläschenfleck, der sich mit der Ausbreitung des Risses ausdehnte. Den Beobachtungen zufolge erschien der erste Bläschenfleck bei einer Änderung der Schwingungszahl um etwa 2 Hz.

Nach dieser Methode wurden der Dauerbeanspruchung insgesamt 9 Kurbelwellenmodelle ausgesetzt, u. zw. bei einer Mittelspannung  $\sigma_m = 18,4 \text{ kp/mm}^2$  und bei einem Spannungsaussschlag  $\sigma_a = \pm 14,07 \text{ kp/mm}^2$ . (Bei diesen Spannungen handelt es sich um die am Übergang vom Kurbelzapfen zum Kurbelarm bestimmten Nennwerte.) Die Lastspielfrequenz betrug durchwegs etwa 20 Hz. Die aus den Versuchen gewonnenen Ergebnisse gestatten folgende Feststellungen:

a) Gemessen an der dem Beginn der Dauerfestigkeitsprüfung zugehörigen Schwingungszahl erfährt die Systemschwingungszahl eine Änderung. Diese setzt zugleich mit der Beanspruchung ein und hält kontinuierlich an. Sprunghafte Änderungen lassen sich weder an dem auf dem Oszilloskopschirm erscheinenden Bild noch in dem Diagramm nach Abb. 6 nachweisen.

b) Die Schwingungszahländerung ist dem an der Probe auftretenden Riß proportional, das Verfahren eignet sich somit zur Untersuchung und Aufzeichnung des Rißvorganges.

c) Bei Biegebeanspruchungen bietet der auf der Ölschicht auftretende Luftbläschenfleck eine gute Handhabe zur Deutung und Bestimmung des Erscheinens eines Makrorisses.

### Zusammenfassung

Nach den bisher bekannten Methoden war es nicht möglich, den Beginn der Rißbildung bzw. die Rißausbreitung während der Dauerschwingfestigkeitsprüfung gegliederter Konstruktionselemente zu bestimmen. Bei jenen mit der Eigenschwingungszahl arbeitenden Prüfmaschinen, bei denen die Konstanthaltung der Belastung mit keinerlei Änderung der Schwingungszahl verbunden ist, besteht die Möglichkeit, durch Messung der Eigenschwingungszahl den Riß bzw. dessen Ausbreitung festzustellen. Das Verfahren wurde bei der Dauerschwingfestigkeitsprüfung an einem Kurbelwellenmodell erprobt. Die Resultate der Versuche haben die Richtigkeit der Annahme bestätigt.

Dr. Ottó SZAMOSVÖLGYI }  
Gáspár KELEMEN } Budapest, XI., Műegyetem rkp. 3. Ungarn