

30. Nov. 1979

Diss ETH 6471

REIB - UND VERSCHLEISSVERHALTEN
DER BREMSBELAEGE VON TRAGSEILBREMSEN

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines
Doktors der Technischen Wissenschaften

der

EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZUERICH

vorgelegt von

Gassmann Hansruedi

Dipl. Ingenieur-Techniker HTL

geboren am 15. Januar 1944

von Bern

Angenommen auf Antrag von

Prof. O. Zweifel, Referent

Prof. M. Berchtold, Korreferent

1979

Kurzfassung

Die Kabinenfahrzeuge von grösseren Luftseilbahnen sind in der Regel mit Tragseilbremsen ausgerüstet. Diese Fahrzeugbremsen haben die Aufgabe, im Fall eines Zugseilrisses das Seilbahnfahrzeug bis zum Stillstand abzubremsen und damit einen grösseren Unfall zu verhindern. Die heute üblichen Tragseilbremsen arbeiten alle nach dem Prinzip der Klotzbremse, indem paarweise angeordnete Bremsbeläge mit (annähernd) konstanter Normalkraft gegen das Tragseil gepresst werden. Die Bremskraft wird also durch den metallischen Reibprozess zwischen den Bremsbelägen und dem Tragseil erzeugt. Für die richtige Dimensionierung der Normalkräfte auf die Bremsbeläge ist die Kenntnis der zu erwartenden Reibwerte eine unumgängliche Voraussetzung. Ferner muss der zu erwartende Verschleiss an Belagsmaterial während des Bremsvorganges bekannt sein. Diese Grössen unterliegen relativ grossen Streuungen, deren Ursachen Gegenstand dieser Untersuchung sind, unter spezieller Berücksichtigung der thermodynamischen Einflüsse.

Anhand einfacher mathematischer Ersatzmodelle wird die Erhitzung der Reibpartner sowie der Verschleiss der Bremsbeläge untersucht. Es werden Beziehungen zur Berechnung der Temperaturverteilung in den Reibpartnern hergeleitet, unter Berücksichtigung der verschleissbedingten Zunahme der Reibflächenbreite während des Bremsvorganges. Für einige besonders einfache Fälle (wie z.B. konstante Verzögerung und konstanter Reibwert) sind die thermodynamischen Beziehungen in dimensionslosen Diagrammen dargestellt.

Es wurden auch - mit einer speziell für diesen Zweck hergestellten und mit Messinstrumenten ausgerüsteten Tragseilbremse - Bremsversuche an Luftseilbahnen durchgeführt (Anfangsgeschwindigkeit 8 m/s). Hier liefern die mathematischen Ersatzmodelle die Grundlage für die Versuchsauswertung, so z.B. für die Berechnung des zeitlichen Verlaufes der mittleren Reibflächentemperatur \bar{T} aufgrund lokal gemessener Materialtemperaturen unter der Reibfläche des Bremsbelages.

Die Auswertungen dieser Versuche zeigen, dass das Reibverhalten der Bremsbeläge in drastischer Weise einerseits durch die Schmierstoffe (bzw. deren gealterte Rückstände) auf der Tragseiloberfläche und andererseits durch die Reibflächentemperatur beeinflusst werden. Je höher die Reibflächentemperatur ist (es wurden Temperaturen bis 850 °C gemessen), um so grösser ist die Zerstörung der Schmierstoffschicht und um so intensiver ist der metallische Kontakt (d.h. die Bildung lokaler Schweissbrücken) zwischen den Reibpartnern. Dies hat zur Folge, dass die momentanen Reibwerte - mit einer Grössenordnung $\mu \approx 0.08$ bei $\bar{T} \approx 200$ °C - bei höheren Temperaturen $\bar{T} \approx 500$ °C Spitzenwerte bis zu $\mu \approx 0.4$ erreichen können. Werden sehr hohe Reibflächentemperaturen erreicht ($\bar{T} > 600$ °C), dann führt die bei dieser Materialtemperatur nur noch kleine Wirkstofffestigkeit des Bremsbelagsmaterials (Aluminium-Mehrstoffbronzen, z.B. Cu Al 10 Fe 5 Ni 5) wieder zu einer drastischen Reduktion der Reibwerte auf die Grössenordnung $\mu \approx 0.1$.

Diese Temperaturabhängigkeit der momentanen Reibwerte wird zudem noch durch den Verschmutzungsgrad der Tragseile (insbesondere das Betriebsalter der Seilfette) beeinflusst. Bei alten Tragseilen wurden wesentlich kleinere Reibwerte gemessen als bei neuen Tragseilen. Aufgrund dieser Einflüsse, welche die wichtigsten Ursachen für die Streuungen im Reib- und Verschleissverhalten sind, ist eine Vorausberechnung der jeweiligen Reibverhältnisse praktisch unmöglich. Durch Einlegen von Schmierstoffplättchen im Bremsbelag besteht jedoch die Möglichkeit, den Bereich der Streuungen erheblich zu reduzieren.

Summary

Cabins of big aerial ropeways are generally fitted with track rope brakes. These car-brakes have to stop the car in case of a haul rope break and thus to avoid a catastrophe. The track rope brakes generally used today are designed on the principle of brake shoes arranged in pairs which are pressed against the track rope with (approximately) constant normal force. The braking force is being produced by the metallic friction between the brake shoes and the track rope. An important condition for the proper design of normal forces on the brake shoes is the knowledge of the frictional coefficients to be expected. Furthermore, the expected wear of the shoe material during the braking process must be known. These characteristic values are submitted to relatively wide scattering. The research has been done in order to determine the cause of this scattering (with special consideration of thermodynamical influences).

The heating of frictional pairs and the wear of the brake shoes is being explored by means of simple mathematical substitute models. The relationships used for the calculation of temperature distribution in frictional pairs are derived under consideration of the increase of the frictional surface width due to wear of the brake shoes during the braking process. The results of thermodynamical calculations of some particularly simple cases (i.e. constant deceleration and constant frictional coefficients) are presented in dimensionless diagrams.

Braking tests on aerial ropeways (initial velocity 8 m/s) have been carried out using a track rope brake equipped with measuring instruments. In this case the mathematical models deliver the base for the evaluation, i.e. the calculation of the actual average frictional surface temperature \bar{T} as a function of time, based on measured local material temperatures underneath the frictional surface of the brake shoe.

The evaluation of the tests shows that the frictional behaviour of the brake shoes is influenced in an unexpected way either by the coat of lubricants (more precisely by their aged remainders) on the surface of the track rope or by the temperature of the frictional surface. The higher the temperature of the frictional surface (up to 850 °C), the heavier the damages on the lubrication coat and the more intensive the metallic contact (and the formation of hot-spots) between the frictional pairs. In consequence, instantaneous frictional coefficients (with an order of magnitude of $f \approx 0.08$ at $\bar{T} \approx 200$ °C) can reach orders of magnitude of $f \approx 0.4$ in the case of higher temperatures ($\bar{T} \approx 500$ °C). At temperatures of the frictional surface higher than 600 °C, the low local strength of the shoe material (aluminium bronzes, i.e. Cu Al 10 Fe 5 Ni 5) causes drastical reductions of the frictional coefficients down to orders of magnitude of $f \approx 0.1$.

The instantaneous frictional coefficients are not only depending on the temperature but are also highly influenced by the pollution degree of the track ropes and especially by the operational age of the grease put on the rope years ago. In the case of old track ropes with aged grease the measured frictional coefficients are considerably lower than in that of new ropes with recently applied grease. This influence is the essential cause of the wide scattering in the frictional behaviour of the brake shoes which involves a dangerous insecurity as to precalculating any braking effect. It is, however, possible to avoid the scattering by inserting lubricant tablets into the brake shoe material.