

Méthode de dimensionnement des câbles à la fatigue

Autor(en): **Rossetti, Ugo**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte**

Band (Jahr): **37 (1982)**

PDF erstellt am: **20.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-28964>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Méthode de dimensionnement des câbles à la fatigue

Methode zur Bemessung von Drahtseilen auf Ermüdung

Design Selection of Wire Ropes Based on Fatigue

UGO ROSSETTI

Professor
Politecnico Torino
Torino, Italie

RESUME

Le calcul des câbles est actuellement effectué à l'aide d'un coefficient de sécurité fixe rapporté à l'effort de traction. La méthode illustrée, inspirée d'une conception probabiliste de la sécurité, considère comme critère de calcul l'endommagement par fatigue-usure et l'hypothèse de Miner en employant une courbe d'endurance appropriée ainsi qu'un spectre réaliste des charges en service.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Dimensionierung von Drahtseilen erfolgt heute mit einem Sicherheitskoeffizienten bezogen auf die Zugkraft im Seil. Die vorgeschlagene Methode beruht auf einem probabilistischen Sicherheitskonzept. Die Schädigung durch Ermüdung und Abnutzung dient als Bemessungskriterium unter Anwendung der Palmgren-Miner-Hypothese mit einer Ermüdungsfestigkeitskurve des Seils und einem realistischen Betriebslastspektrum.

SUMMARY

At present, wire ropes are designed on the basis of a fixed safety coefficient related to the axial load. The method proposed considers the fatigue-wear damage as a design criterion. It is based on a probabilistic safety concept and uses Miner's hypothesis applied to a realistic endurance curve of the rope and an appropriate service load spectra.



1. INTRODUCTION

Le câble d'acier constitue une structure assez compliquée dont le calcul rigoureux est sans aucun doute un problème extrêmement lourd même en présence d'hypothèses simplificatrices.

En réalité le câble est aussi à considérer comme une machine transmettant une énergie à distance, avec les problèmes dynamiques des machines: donc structure et machine à la fois.

Le projet des câbles et la vérification de leur sécurité sont effectués par des Règles basées sur une limite fixe de l'effort axial maximum rapportée à l'effort de rupture statique sur brin droit; sur des rapports minimaux du diamètre de la poulie ou galet avec le diamètre du câble, et/ou des fils; sur une durée maximale de vie fixée à priori par les Normes; sur un contrôle périodique des ruptures des fils extérieurs et/ou sur des inspections périodiques magnéto-inductives. (*)

Quant aux essais de réception, ils sont purement statiques (traction, flexion, torsion des fils et traction sur brin droit) en dépit du fait que les câbles sont soumis, au passage sur poulies et galets, à des contraintes dynamiques donnant lieu à des phénomènes de fatigue et d'usure.

D'autre part le principal critère de dimensionnement prévu par les Règles est le coefficient statique de sécurité à traction, qui n'a aucune liaison directe avec les efforts répétés subis par les câbles. Les autres critères se rapportent plutôt à la surveillance périodique ou bien fixent une durée de vie (5, 10, 15 ans) dont il n'est pas facile de trouver une justification rationnelle.

Cette situation trouve une explication dans la difficulté d'une part de déterminer les actions appliquées au câble en mouvement, d'autre part de calculer les contraintes dans les fils sous ces actions et enfin de mettre au point des essais de réception reproduisant mieux les conditions de service.

Par ailleurs, au cours des dernières années de concepts nouveaux se sont développés (dommage cumulatif en fatigue, spectres de charge, critères "safe-life" et "fail-safe", méthodes probabilistes aux états limites, évaluation statistique des actions et des résistances) que nous nous sommes proposés d'employer pour présenter une méthode nouvelle de calcul des câbles et de vérification de leur sécurité, compte tenu aussi des récents remarquables progrès dans le domaine des recherches d'endurance sur câbles.

Ces recherches ont non seulement permis d'améliorer nos connaissances sur cette structure si compliquée qui est le câble, mais aussi

(*) Nous nous rapportons ici aux câbles de téléphériques à passagers ou aux câbles de levage de mines ou ascenseurs: pour les autres cas les règles sont simplifiées.



d'affirmer que:

- a) deux câbles apparemment analogues, présentant des résultats semblables aux essais classiques de réception peuvent donner lieu à des comportements très différents soit à l'essai de fatigue soit en service: ceci parce que la durée d'un câble dépend de plusieurs paramètres que les essais actuels ne sont pas à même de contrôler ou de mettre en évidence, ce qui peut être fait d'une façon synthétique par l'essai de fatigue qui reproduit au mieux les conditions de travail du câble;
- b) les durées maximales de vie fixées par les Normes sont en général trop réduites et l'endurance restante du câble, mesurée après dépose avec essai de fatigue, est souvent assez élevée; ceci n'empêche pas d'observer que dans certains cas la durée a été inférieure à celle prévue par les Règles;
- c) la courbe de fatigue du câble peut être exprimée par une équation du type Wholer - Weibull mais sans limite de fatigue;
- d) les essais en charge progressive et par blocs ont confirmé la validité de l'hypothèse de Miner dans la fatigue des câbles.

2. PRINCIPES DE LA NOUVELLE METHODE

2.1 Etat limite ultime de la structure-câble.

Nous établissons de choisir comme état limite ultime la durée jusqu'à rupture sous sollicitations de fatigue-usure au lieu de la rupture par effort axial statique prise en compte actuellement.

2.2 Etats limite de service

On peut prévoir les états limite suivants: de déformation par allongement axial excessif, de rupture de fils extérieurs (critère fail-safe), de diminution excessive du diamètre.

2.3 Critère de sécurité

La sécurité sera rapportée à l'endurance du câble. Par l'analyse statistique des actions et de la résistance à la fatigue il est possible de mettre au point un critère probabiliste de sécurité.

En première approximation on pourra adopter un critère déterministe en utilisant un coefficient de sécurité fonction des caractéristiques de l'installation: la durée du câble sera calculée en divisant par ce coefficient l'endurance déterminée par notre méthode.

2.4 Actions

Supposons de nous rapporter au câble tracteur d'un téléphérique. De l'examen du tracé on peut localiser facilement la zone de câble que subit le plus grand nombre de flexions sur poulies et galets: dans les sections correspondantes on devra calculer l'effort axial du câble dans les combinaisons les plus défavorables (charges permanentes, vent, nombre de passagers en montée et en descente).



2.5 Contraintes dans les fils

Les actions donnant lieu à l'effort axial, l'effet de flexion sur poulies et galets ainsi que la pression Hertzienne sur les gorges et les éventuels effets de torsion produisent dans les fils des contraintes dont le calcul rigoureux est assez complexe, compte tenu de la complexité de la "structure-câble".

En accord avec d'autres auteurs [1] [2] nous proposons la formule conventionnelle élastique:

$$\sigma_r = \sigma_t + \sigma_f = \frac{T}{A \cos \varphi_1 \cos \varphi_2} + E \frac{\delta}{D} \cos^2 (\varphi_1 + \varphi_2) \quad (1)$$

où:

σ_r = contrainte de référence (MPa)

σ_t, σ_f = contraintes théoriques de traction et de flexion (MPa)

T = effort local de traction [N]

A = aire de la section du câble

φ_1, φ_2 = angles de toronnage et de câblage

δ = diamètre des fils considérés

D = diamètre de la poulie; au cas de flexion ponctuelle sur galet, $D = 2R$ où R est le rayon de courbure minimal déterminé en fonction de la situation locale à l'aide des résultats d'essais préalables de raideur. (°)

2.6 Bloc de charge

Le bloc de charge représente la succession des valeurs de la contrainte de référence correspondantes à une course du câble. Dans cette détermination les valeurs des contraintes de référence sont considérées uniquement en correspondance des passages du câble sur de poulies ou galets; (dans un téléphérique étudié par nous, un bloc typique pourrait être le suivant: 8 valeurs de σ_R sur galets d'un appuis, 12 valeurs de σ_R sur galets d'un autre appuis, 4 valeurs différentes au passage sur les poulies de la station motrice, 8 valeurs sur galets d'un appui en descente).

2.7 Courbe de fatigue du câble

Le courbe de fatigue en flexion-traction est déterminée en Laboratoire par un raisonnable nombre d'essais visant à reproduire autant que possible les conditions de service.

(°) Nous avons mis au point un appareil qui détermine en Laboratoire la "ligne élastique" du câble en correspondance d'un galet chargé par une force transversale P sous divers efforts axiaux. De ces essais de raideur ou tire des abaques permettant d'évaluer la courbure du câble dans les situations de service.



Les contraintes dans les fils lors de l'essai sont calculées par la même formule (1).

L'équation de la courbe de fatigue peut être exprimée, dans sa forme la plus simple, par une relation du type:

$$\sigma_R^n N = C \quad (2)$$

où n et C , constantes à déterminer pour chaque câble par voie d'expérience, N = durée en flexions.

Puisque les résultats des essais ont une distribution gaussienne, il est possible d'en effectuer l'élaboration statistique et de définir une courbe de fatigue caractéristique déplacée vers l'axe des σ_R d'après le fractile choisi.

2.8 Calcul de l'endurance du câble

La (2) permet de calculer les durées N_i pour chaque valeur σ_R du bloc de charge et donc l'endommagement pour chaque bloc. Par la loi de Miner il est alors possible de calculer le nombre de blocs correspondant à la rupture par fatigue du câble en service, soit l'endurance du câble.

2.9 Sécurité du câble

La vie acceptable du câble sera déterminée en divisant l'endurance par un coefficient approprié (voir 2.3).

Avec un critère semiprobabiliste on pourrait définir les valeurs caractéristiques soit du bloc de charge, soit de la courbe de fatigue et appliquer ensuite un opportun coefficient de sécurité à la durée ainsi calculée.

2.10 Etude d'optimisation

La méthode permet une étude d'optimisation des coûts du téléphérique (diamètres du câble, des poulies et galets; dimensions des structures) en fonction d'une durée optimale du câble compte tenu aussi des états-limite d'exercice, des frais de dépose et de remplacement.

3. OBSERVATIONS

La méthode proposée est sans aucun doute plus rationnelle de celle utilisée à présent et constitue un projet de code de calcul basé sur la fatigue (fatigue design code).

Du point de vue pratique il faut toutefois observer que des études ultérieures sont nécessaires soit sur la formule (1) pour le calcul des contraintes dans les fils, soit sur la formule (2) qui exprime la courbe d'endurance, que d'après les critères de la fatigue classique devrait être fonction de l'amplitude $\Delta\sigma$ de la contrainte variable, la contrainte moyenne étant un paramètre mesurant la position de la courbe dans le graphique $\Delta\sigma - N$.

Quant à l'expression (1) la plupart des auteurs estiment de pouvoir l'utiliser, tout en tenant compte de son caractère conventionnel.



En ce qui concerne la formule (2) il y a au contraire une certaine disparité de points de vue qui a donné lieu à d'autres propositions telles que, par exemple:

$$\text{Drucker et Tachau (1936): } \left(\frac{2 TA}{\sigma_R d} \right)^m N = C \quad (3)$$

$$\text{Giovannozzi (1964): } \sigma_t^n \left(100 \frac{d}{d + D} \right)^m N = C \quad (4)$$

$$\text{Meeuse (1976): } \left(\sigma_t + \frac{\sigma_f}{2} \right)^m N = C \quad (5)$$

$$\text{Luboz (1978): } \left(\frac{\sigma_f}{2} \right)^m \left(\sigma_t + \frac{\sigma_f}{2} \right)^n N = C \quad (6)$$

Dans la (3) σ_R est la contrainte de rupture de l'acier des fils, d est le diamètre du câble.

Une discussion de ces formules a été effectuée [3] [4] [5] et se poursuit au sein de l'OIPEEC (Org. Internationale pour l'étude de l'endurance des câbles); ici nous nous bornons à observer que toutes les courbes que l'on obtient par les différentes formules de (2) à (6) s'approchent assez bien des résultats d'expérience dans le domaine des essais de Laboratoire, qui couvrent une partie seulement des situations de service.

Le problème se pose quand on doit extrapoler les courbes pour des situations extrêmes de service: très grands rayons de courbure, soit au passage sur galets, ou très faibles tractions axiales. Dans ces cas les courbes diffèrent entre elles et les calculs du dommage par fatigue et la durée du câble donnent lieu à des différences sensibles dans les résultats. [5]

Des recherches ultérieures ainsi que des observations systématiques sur des câbles en service dont le comportement à fatigue ait été préalablement étudié en Laboratoire pourront éclaircir cet aspect très important pour les câbles travaillant sur galets.

Pour les câbles de levage en général on peut affirmer que la méthode illustrée ne présente pas de problèmes.

En conclusion notre proposition montre la possibilité de préparer un code de règles de réception, calcul et sécurité plus adhérent aux conditions d'emploi des câbles et cohérent avec les progrès récents en d'autres domaines de la technique des constructions.

Bibliographie

- [1] GRECO, PERCIABOSO, ANNIBALI: Convegno Internazionale Funiviario. Torino, octobre 1970
- [2] GIOVANNOZZI R.: Comma 1 Research OIPEEC Bulletin 8, 1965
- [3] LANZARO, ROSSETTI, TONGHINI: Atti Istituto Scienza Costruzioni Politecnico Torino, n° 390, 1978
- [4] CLEMENT Ph.: OIPEEC Bulletin 37, 1980
- [5] ROSSETTI U.: Round Table Cracow University, June 1981