

Ild: Fatigue life of structural members

Objektyp: **Group**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht**

Band (Jahr): **7 (1964)**

PDF erstellt am: **21.09.2024**

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.

of the A 242 steel specimens was considerably greater than the A 7 steel specimens. However, the lower bound of the high strength steel specimens was the same as the mild steel specimens.

Tests cited in Ref. [3] had indicated that for similar welded details the fatigue strength was approximately the same regardless of the type steel. Additional work continues to confirm this hypothesis. For example, unpublished reports of tests in progress at the University of Illinois (Refs. [5, 6]) indicate clearly that the higher strength steel specimens behaved similarly to the mild steel specimens with similar welded details.

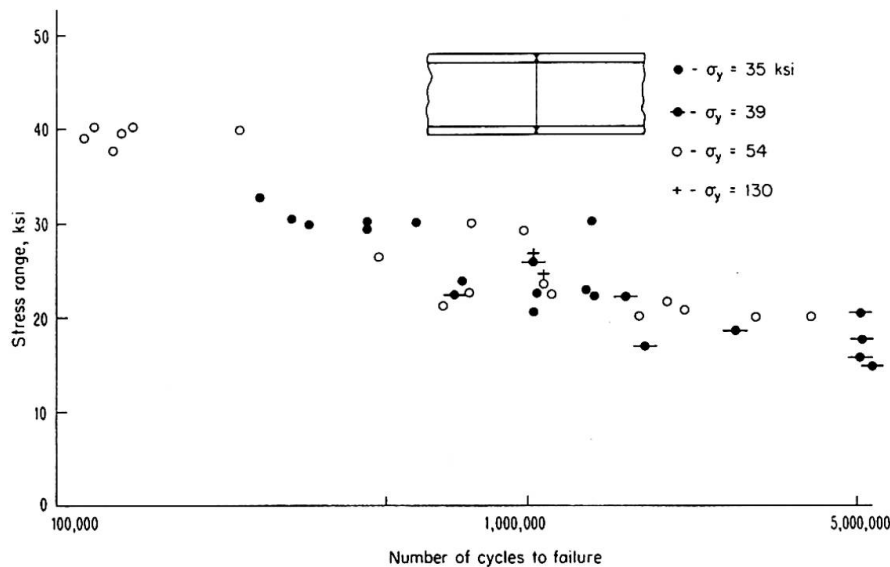


Fig. 2. Fatigue Tests Butt Welded Beam Splices.

Fig. 2 compares the results of tests on butt welded beam splices for mild steel, high strength steel and quenched and tempered alloy steel. The test data are taken from Ref. [5, 6, 7, 8]. No distinct difference exists in the S-N curves of these steels. Only a few tests have been conducted to date with the quenched and tempered steels. However, they are in agreement with the results for mild and high strength steel.

Other welded details such as butt splices with cope holes, stiffeners welded to the tension flange and beams with partial length coverplates have yielded similar results.

GURNEY [9] reported that a few tests carried out on ST 52 steel of German origin produced identical results to those obtained with BS 15 mild steel. Also, KONISHI [10] has tested longitudinal welded lap splices and butt welded splices and obtained essentially the same fatigue strength for high strength and mild steels. Insofar as known, the tests reported by KLÖPPEL and WEIHERMÜLLER [11] on welded specimens fabricated from ST 52 are the only ones which have shown any improvement in strength over mild steel.

This particular divergence in results was discussed at some length at the

“Symposium on the Fatigue of Welded Structures” held at Cambridge University in 1960 [12]. It was pointed out that this question had been raised to Commission XIII of the International Institute of Welding and it was confirmed that ST 52 did not give better results than mild steel.

Hence, it can be concluded that further research and testing of the higher strength steels supports the proposed design hypothesis.

References

1. P. DUBAS: “General Report for Theme II”. Preliminary Publications, 7th Congress, IABSE, 1964, pp. 347—348.
2. S. WINTERGERST and K. HECKEL: «Untersuchungen der Dauerfestigkeit von Schweißverbindungen mit ST 37». Der Stahlbau, 1962. KLÖPPEL, K. and WEIHERMÜLLER: «Dauerfestigkeitsversuche mit Schweißverbindungen aus St 52». Der Stahlbau, May, 1960.
3. J. W. FISHER and I. M. VIEST: “Fatigue Life of Bridge Beams Subjected to Controlled Truck Traffic”. Preliminary Publications, 7th Congress, IABSE, 1964, pp. 497—510.
4. N. G. HANSEN: “Fatigue Tests of Joints of High Strength Steel”. Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 85, No. ST 3, March, 1959.
5. D. R. SHERMAN and J. E. STALLMEYER: “Fatigue of T-1 Beams”. University of Illinois, Urbana, Illinois, 1963 (unpublished).
6. D. R. SHERMAN, L. R. HALL and J. E. STALLMEYER: “Flexural Fatigue Tests of A 441 Steel Beams”. University of Illinois, Urbana, Illinois, 1962 (unpublished).
7. F. G. LEA and J. G. WHITMAN: “The Failure of Girders Under Repeated Stresses.” Journal of the Inst. of Civil Engineers, Vol. 7 (1937/38), p. 119.
8. W. H. MUNSE and J. E. STALLMEYER: “Fatigue in Welded Beams and Girders”. Highway Research Board, Bulletin 315, 1962.
9. T. R. GURNEY: “Fatigue Strength of Fillet Welded Joints in Steel”. British Welding Journal, March 1960, pp. 538—547.
10. I. KONISHI, O. TAKAGI and K. SHIMEDA: Proc. 1st Japan Conf. on Testing Materials, Tokyo, March 1958.
11. K. KLÖPPEL and H. WEIHERMÜLLER: «Neue Dauerfestigkeitsversuche mit Schweißverbindungen aus St 52». Der Stahlbau, 1957, Vol. 10, pp. 149—155.
12. Discussion at the Symposium on “Fatigue of Welded Structures”. British Welding Journal, July 1960, pp. 477—478, August 1960, pp. 526—527.

Summary

Additional test results are summarized which support the generalized design approach proposed in the Preliminary Publications. It is further confirmed that the endurance limit does not depend, in the interesting range, on the ultimate strength and the yield point of the steel.

Résumé

Les résultats de nouveaux essais sont présentés de manière succincte et l'on constate qu'ils confirment la méthode généralisée proposée dans la “Pu-

blication Préliminaire". Il est une nouvelle fois vérifié que, dans le domaine qui présente pour nous un intérêt, la limite d'endurance ne dépend pas de la résistance à la rupture ni de la limite élastique de l'acier.

Zusammenfassung

Die Autoren fassen zusätzliche Versuchsergebnisse zusammen, welche das im «Vorbericht» vorgeschlagene verallgemeinerte Bemessungsverfahren unterstützen. Ferner wird der Beweis erbracht, daß die Ermüdungsgrenze des Stahls im maßgebenden Bereich nicht von dessen Zugfestigkeit und Fließgrenze abhängig ist.

II d 2

Diskussion - Discussion - Discussion

Dauerfestigkeit von Brückenträgern für Testlastenzüge (John W. Fisher, Ivan M. Viest)¹⁾

Fatigue Life of Bridge Beams Subjected to Controlled Truck Traffic

Résistance à la fatigue de poutres de ponts soumises à des essais de passage de camions

F. STÜSSI

Prof. Dr., Präsident der IVBH, ETH, Zürich

Die Versuche der American Association of State Highway Officials (AASHO) über das Auftreten von Ermüdungsbrüchen bei Straßenbrücken, über die J. W. FISHER und I. M. VIEST im Vorbericht berichten, sind von grundsätzlicher Bedeutung. Sie zeigen nämlich, daß auch bei Straßenbrücken eine Ermüdungsgefahr grundsätzlich bestehen kann. An den untersuchten Brücken der AASHO-Versuche traten schon bei rund 500 000 Lastwechseln und bei Beanspruchungen, die nur wenig über den zulässigen Spannungen des Materials lagen, Ermüdungsrisse auf. Die Brückenversuche stimmen grundsätzlich mit den parallel dazu durchgeführten Laboratoriumsversuchen überein, jedoch liegen die Ermüdungswerte der Brückenversuche noch etwas tiefer als diejenigen der Laboratoriumsversuche. Die in Fig. 1 eingetragene Kurve ist auf Grund einer bei Zug-Druckversuchen an gelochten Stäben ermittelten Kerbfunktion ψ^2 ,

$$\psi^2 = \frac{\sigma_Z (\sigma_Z - \sigma_m) (\sigma_W - \Delta \sigma) - \sigma_m \sigma_W \Delta \sigma}{\sigma_m - \sigma_W + \Delta \sigma},$$

berechnet worden.

Diese Kerbfunktion ψ^2 zeigt den Verlauf einer Kettenlinie (Fig. 2); sie ist unabhängig von der Lastwechselzahl und ein Merkmal für das Ermüdungsverhalten gekerbter Stäbe. Bei glatten Probestäben verschwindet die Kerbfunktion, $\psi^2 = 0$.

Aus den AASHO-Versuchen (Fig. 1) zeigt sich, daß bei Wechselbeanspruchung von etwa ± 9 ksi schon bei rund 500 000 Lastwechseln Ermüdungsbrüche zu erwarten sind. Bei höheren Lastwechselzahlen, beispielsweise 2 Millionen, liegt diese kritische Beanspruchungsgrenze für Wechselfestigkeit deutlich noch tiefer.

¹⁾ Siehe «Vorbericht» — see «Preliminary Publication» — voir «Publication Préliminaire», II d 1, p. 497.

Ein Anriß an einer bestimmten Stelle bedeutet an sich noch keinen unmittelbaren Einsturz des Tragwerkes, doch zeigt sich aus unseren Zug-Druckversuchen an gelochten Stahlstäben, daß bei höheren Mittelspannungen der Unterschied der Lastwechselzahlen für Anriß und für Bruch nicht groß ist (Fig. 3), so daß nach eingetretenem Anriß ein Bruch des Elementes bei einer relativ kleinen Vergrößerung der Lastwechselzahl zu erwarten ist.

Der Feststellung von J. W. FISHER und I. M. VIEST, daß die Ermüdungs-

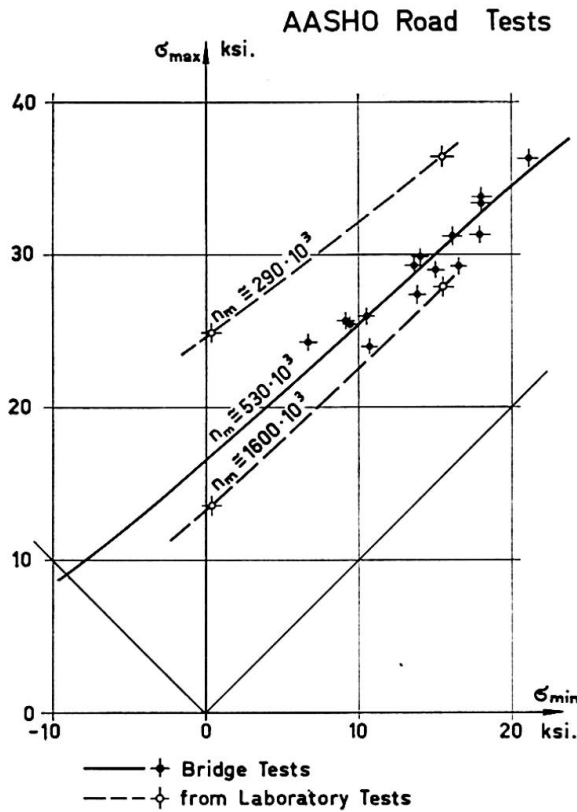


Fig. 1.

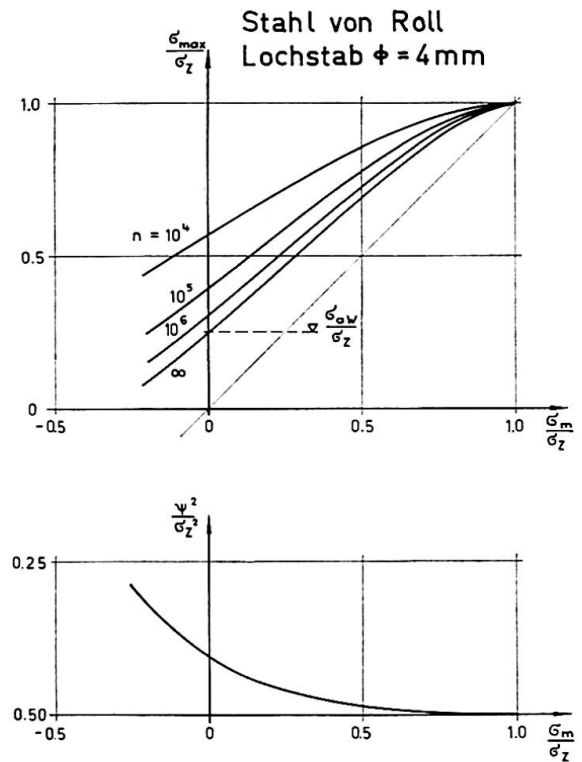


Fig. 2.

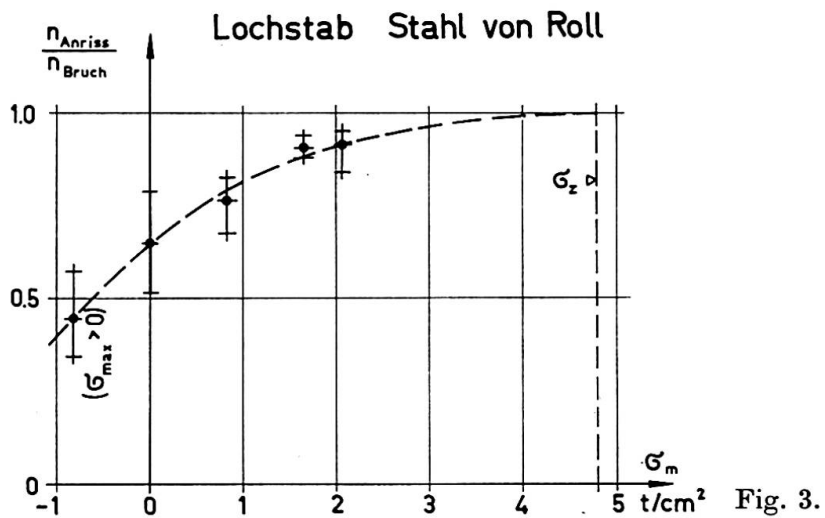


Fig. 3.

festigkeit durch Steigerung der Zugfestigkeit des Materials nur unbedeutend erhöht werde, kann nicht allgemein zugestimmt werden. In der folgenden Tabelle 1 sind die Wechselfestigkeiten σ_W bei 1 Million Lastwechsel für normalen Baustahl (St 37) und hochwertigen Baustahl (St 52) für einige charakteristische Stabformen zusammengestellt nach Versuchen von M. Roš und A. EICHINGER²⁾ und mit den statischen Zugfestigkeiten σ_Z verglichen. Es zeigt sich, daß das Verhältnis σ_W/σ_Z für den glatten Probestab für die beiden untersuchten Stahlarten annähernd gleich groß ist, daß jedoch der hochwertige

Tabelle 1. Versuche Roš-Eichinger, $n = 10^6$

	St. 37			St. 52		
	σ_W kg/mm ²	σ_Z kg/mm ²	$\frac{\sigma_W}{\sigma_Z}$	σ_W kg/mm ²	σ_Z kg/mm ²	$\frac{\sigma_W}{\sigma_Z}$
Vollstab ohne Walzhaut	18,0	39,0	0,462	28,5	62,0	0,460
Vollstab mit Walzhaut	15,5	39,0	0,397	23,5	62,0	0,379
Lochstab ohne Walzhaut	12,0	42,8	0,280	17,0	66,5	0,256
Lochstab mit Walzhaut	11,5	42,8	0,269	15,0	66,5	0,226

Stahl auf Kerbwirkungen offensichtlich etwas empfindlicher ist als der normale Stahl. Immerhin ist auch im ungünstigsten Fall die Wechselfestigkeit von Stahl St 52 noch mindestens 30% höher als diejenige von Stahl St 37. Fig. 4 zeigt amerikanische Versuche an einem hochwertigen Stahl, SAE 4130 Steel³⁾, wie er im Flugzeugbau verwendet wird. Für 1 Million Lastwechsel beträgt für den ungekerbten Stab die Wechselfestigkeit σ_W etwa 51,2 ksi, so daß sich bei einer statischen Zugfestigkeit σ_Z von 118 ksi ein Verhältnis σ_W/σ_Z von 0,434 ergibt; auch bei diesem hochwertigen Stahl liegt somit ein ähnliches Verhältnis für den glatten Vollstab vor, wie bei den in Tabelle 1 angegebenen Baustählen. Es ist nicht zu bestreiten, daß sogenannte hochwertige Stähle hergestellt werden, bei denen im Vergleich zu gewöhnlichem Baustahl die statische Zugfestigkeit viel stärker vergrößert ist als die Wechselfestigkeit bei 2 Millionen oder mehr Lastwechseln. Der Stahlbauer muß aber von den hochwertigen Stählen erwarten können, daß bei einer Steigerung der statischen Zugfestigkeit auch die Ermüdungsfestigkeiten in annähernd gleichem Verhältnis vergrößert werden. Es ist Sache der Stahlwerke, solche Stähle zu entwickeln und herzustellen. Bei den europäischen Baustählen dürfte seit einiger Zeit diese Forderung des Konstrukteurs erfüllt sein. Es sei noch darauf hingewiesen, daß

²⁾ M. Roš und A. EICHINGER: «Die Bruchgefahr fester Körper bei wiederholter Beanspruchung — Ermüdung — Metalle», EMPA-Bericht Nr. 173, Zürich 1950.

³⁾ W. ILLG: "Fatigue Tests on notched and unnotched Sheet Specimens of 2024-T3 and 7075-T6 Aluminum Alloys and SAE 4130 Steel with special Consideration of the Life Range from 2 to 10000 cycles". NACA, Technical Note 3866, 1956.

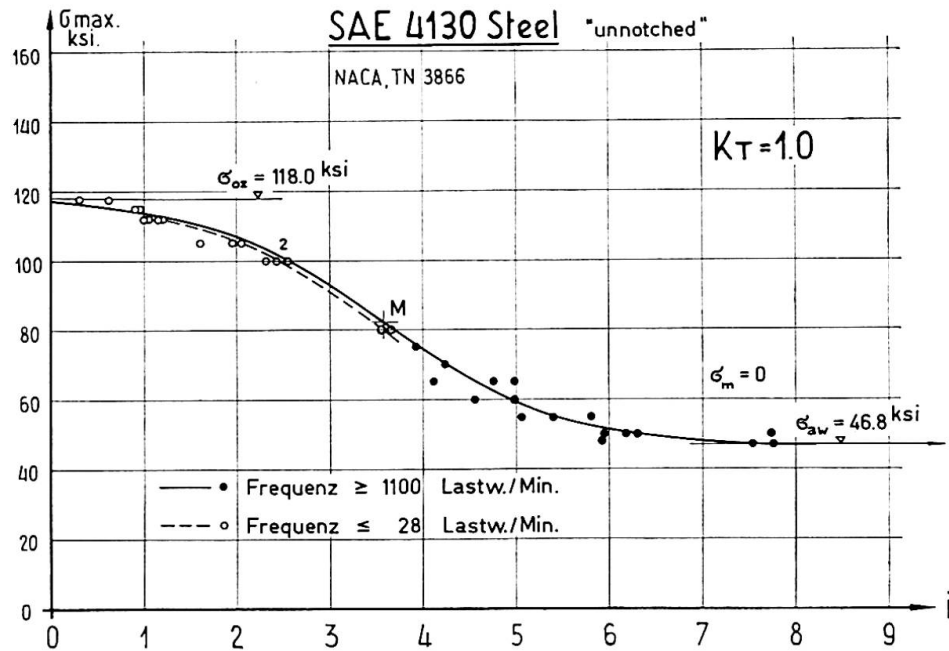


Fig. 4.

die Ermüdungsfestigkeiten des normalen Baustahles (St 37 nach Tabelle 1) deutlich höher liegen als die bei den AASHO-Versuchen festgestellten Ermüdungsfestigkeiten, trotzdem die statischen Zugfestigkeiten in beiden Fällen annähernd gleich groß sind.

Zusammenfassung

Die Ermüdungsversuche an Straßenbrücken, die im Zusammenhang mit den AASHO Road Tests durchgeführt worden sind, zeigen eindeutig, daß auch bei Straßenbrücken eine Ermüdungsgefahr besteht und daß deshalb bei der Bemessung darauf Rücksicht zu nehmen ist. Da die Brückenversuche in ihrem Verlauf grundsätzlich mit Laboratoriumsversuchen übereinstimmen, können aus den Angaben des Beitrages von J. W. FISHER und I. M. VIEST auch quantitative Folgerungen gezogen werden. Der Konstrukteur muß von hochwertigen Baustählen verlangen, daß gegenüber dem normalen Baustahl auch die Ermüdungsfestigkeiten in annähernd dem gleichen Verhältnis vergrößert sind wie die statischen Zugfestigkeiten.

Summary

Fatigue tests on road bridges [«AASHO Road Tests»] show clearly that the risk of fatigue cracks also exists for this type of structures and should consequently be taken into consideration in design work. As the tests on the bridges gave results that are basically similar to those obtained in laboratory tests,

conclusions of a quantitative nature can be drawn from the data given by Messrs. FISHER and VIEST. From the point of view of the designer, it is essential that high strength steels should have fatigue strengths greater than those of mild steel, in a proportion approximately equal to those of the static tensile strengths.

Résumé

Les essais à la fatigue sur des pont-routes, réalisés dans le cadre de l'«AASHO Road Tests», montrent clairement que des risques de fatigue existent également pour ce genre d'ouvrages; il convient donc d'en tenir compte dans les projets. Comme les essais sur les ponts ont donné des résultats en principe semblables à ceux des essais en laboratoires, on peut tirer des conclusions d'ordre quantitatif à partir des indications données par MM. FISHER et VIEST. Du point de vue du constructeur, il est nécessaire que les aciers à haute résistance présentent des résistances à la fatigue supérieures à celles de l'acier doux, dans une proportion à peu près égale à celles des résistances à la rupture statique.

Leere Seite
Blank page
Page vide

II d 3

Zwei Probleme der Ermüdungsfestigkeit

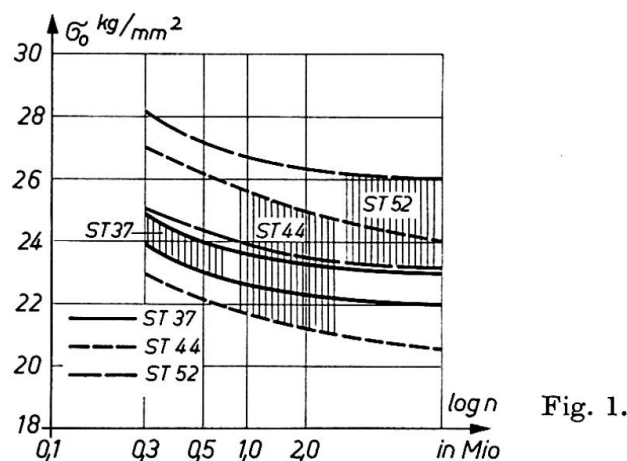
Two Problems Relating to Fatigue Strength

Deux problèmes relatifs à la résistance à la fatigue

H. BEER

o. Prof. Dipl. Ing. Dr. techn., Technische Hochschule, Graz

In der Frage der Ermüdungsfestigkeit von Baustählen verschiedener statischer Festigkeit, die auf dem Kongreß diskutiert wurde, möchte ich besonders auf den großen Einfluß der Oberflächenbeschaffenheit sowie eventuell auch der Beschaffenheit der inneren Struktur (Mikrokerben) hinweisen, die vielfach als Ursache dafür angesehen werden müssen, daß die hochfesten Baustähle (St 44, St 52) keine wesentlich höheren Werte der Ermüdungsfestigkeit σ_E ergeben als der gewöhnliche Baustahl St 37. Kommt noch eine konstruktive Kerbe wie Schweißnaht, Querschnittssprung etc. hinzu, so wird der Unterschied im σ_E immer weniger von der statischen Zugfestigkeit des Baustahls abhängen, sondern vom ungünstigen Zusammenwirken von Mikro- und Makrokerben. In Österreich wurden von Professor Slattenschek in der TVFA der Technischen Hochschule Wien im Auftrage der Generaldirektion der Österreichischen Bundesbahnen und des Österreichischen Stahlbauverbandes Zugschwellversuche an Proben mit unbearbeiteten Stumpfstoßen durchgeführt und die Wöhlerschaubilder im maßgebenden Bereich für die Baustähle St 37, St 44 und St 52 aufgenommen. In Fig. 1 sind die oberen



und unteren Berandungen der Wöhlerkurven eingetragen, so daß man daraus den Streubereich der Versuche erkennen kann. Die Figur zeigt, daß dieser Streubereich für St 37 am kleinsten und für St 44 am größten ist, während jener des Baustahles St 52 zwischen diesen beiden Werten liegt. Diese Tat-

sache wirkt sich dahingehend aus, daß die oberen Berandungskurven zwar entsprechend der Zugfestigkeit des Baustahls ansteigen, während die untere Berandungskurve für St 44 erheblich unter jener für St 37 liegt. Diese scheinbare Diskrepanz dürfte auf den Einfluß der Mikro- und Makrokerben zurückzuführen sein, der beim St 44 eine ungünstigere Zusammenwirkung zeigt. Weitere Versuche mit anderen Schweißverbindungen aus St 44 bestätigten diese Erscheinung.

Ein weiteres Problem, über das am Kongreß lebhaft diskutiert wurde, ist die Ermüdungsfestigkeit von Straßenbrücken. Die AASHO-Roads-Tests, über die J. W. FISHER und I. M. VIEST berichtet haben, brachten wertvolle Erkenntnisse über die Ermüdungsfestigkeit von Brücken. Sie haben vor allem gezeigt, daß bei gleicher Beanspruchung (Unterspannung, Schwingweite) die Ergebnisse der Laborversuche mit jenen der Versuchsbrücken im allgemeinen relativ gut übereinstimmen, so daß damit ein Beitrag zur Beantwortung der wichtigen Frage geliefert wurde, ob Ermüdungsversuche des Laboratoriums Rückschlüsse auf die Bauwerksermüdung zulassen. Ich halte es jedoch nicht für gerechtfertigt, wenn man daraus die Konsequenz ableitet, daß Straßenbrücken nunmehr allgemein auf Ermüdung zu bemessen sind. Eine Bauwerksermüdung nach entsprechend hoher Lastspielzahl könnte bei Straßenbrücken nur dann eintreten, wenn es sich entweder um Brücken sehr kleiner Stützweiten handelt oder wenn ein Konstruktionsteil der Brücke bei jedem Passieren eines schweren Fahrzeuges mit maximaler Schwingweite beansprucht wird. Für die Haupttragkonstruktion einer nach modernen Gesichtspunkten entworfenen Straßenbrücke, selbst relativ kleiner Spannweite, ist jedoch die Bemessung nach statischer Verkehrslast unter Berücksichtigung der dynamischen Einwirkungen durch einen Stoßzuschlag nach wie vor ausreichend, um die geforderte Tragsicherheit der Brücke zu gewährleisten. Die Belastungsvorschriften der meisten Länder schreiben für die Berechnung von Straßenbrücken Verkehrslasten vor, die — selbst bei einer in weiter Zukunft zu erwartenden noch stärkeren Verkehrsmassierung — als Ausnahmefall zu werten sind. Nimmt man die Ordinaten der Schadenslinie als rohe Näherung mit 0,75 der Ordinaten der Wöhlerlinie an, so würde das bedeuten, daß im täglich mehrmaligen Wechsel 75% der Verkehrslast in ungünstigster Laststellung auftreten und wieder verschwinden muß, um die Ermüdungsfestigkeit mit entsprechender Lastspielzahl herabzusetzen. Ich habe bei einer größeren Anzahl von Belastungsproben für Brücken festgestellt, daß es sehr schwierig ist, für eine Probelastung die nötigen Fahrzeuge aufzutreiben, ja, daß man schon bei mehrspurigen Brücken von 40—50 m Spannweite sich oft mit der halben maximalen Verkehrslast zur Messung der Durchbiegungen und Dehnungen begnügen muß. Bedenkt man, daß zum Beispiel nach der österreichischen Belastungsnorm auf einer dreispurigen Brücke von 80 m Spannweite mit beiderseitigen Gehsteigen eine Verkehrslast von rund 500 t der Rechnung zugrundegelegt ist, so erkennt man, daß auch 75% dieser

Belastung als mehrmaliger täglicher Wechsel von vollständiger Be- und Entlastung sehr unwahrscheinlich ist und dies wohl auch in Zukunft sein wird. Eigene Beobachtungen haben bei der zuletzt erwähnten Brücke bei stärkster Verkehrsmassierung in Spitzenzeiten eine maximale Verkehrslastdichte bei stehendem Verkehr von etwa 30% der Rechnungsnutzlast ergeben.

Es wäre jedoch sehr wünschenswert, die Untersuchungen der täglichen Verkehrsdichte und ihrer Aufeinanderfolge bei Straßenbrücken systematisch zu betreiben, um eine fundierte Aussage über die Lebensdauer der Brücken infolge Materialermüdung zu erhalten. Selbstverständlich wird man auch in den hochbeanspruchten Konstruktionsteilen von Straßenbrücken plötzliche Querschnittssprünge und starke konstruktive Kerben vermeiden. Die Verwendung sehr hochfester Baustähle, welche das Problem der Ermüdungsfestigkeit in Straßenbrücken neu aufrollen könnte, kommt vorläufig nur für die Hauptträger von Brücken größerer Spannweite in Betracht, für die die Eigengewichtsvorspannung groß ist und eine oftmalige Wiederholung der Verkehrslast, welche die größte Schwingweite erzeugt, erst recht unwahrscheinlich ist.

Zusammenfassung

Es wird versucht, anhand von österreichischen Versuchsergebnissen für die Beobachtung eine Erklärung zu finden, daß die Ermüdungsfestigkeit von Baustählen mit höherer statischer Zugfestigkeit nicht wesentlich höher ist als jene des gewöhnlichen Baustahles.

Der Verfasser ist ferner der Ansicht, daß Straßenbrücken nur in wenigen Ausnahmefällen auf Ermüdung berechnet zu werden brauchen und begründet diese Ansicht.

Summary

Laboratory tests have proved that the fatigue stresses of high tensile steel are not appreciably higher than those of mild steel. An attempt is made to explain this phenomenon on the basis of the results of tests, carried out in Austria.

The author is convinced that only in a few exceptional cases it is necessary to consider fatigue life in road bridge calculations and gives reasons for this opinion.

Résumé

Des essais de laboratoire ont montré que la limite de fatigue des aciers à haute résistance n'est pas sensiblement plus élevée que celle de l'acier doux. On tente de fonder cette opinion sur des essais autrichiens.

De l'avis de l'auteur, les ponts-routes ne doivent être calculés à la fatigue que dans des cas exceptionnels. Il en indique les raisons.

Leere Seite
Blank page
Page vide

II d 4

Discussion - Discussion - Diskussion

Fatigue Life of Structural Members¹⁾

Résistance à la fatigue des éléments de construction

Ermüdungserscheinungen von Konstruktionsteilen

O. A. KERENSKY

C.B.E., B. Sc., M.I.C.E., M.I. Struct. E., London

Extensive tests by British Welding Research Association in Great Britain have confirmed that welded high tensile steels are no better than welded mild steel when subjected to a large number of critical stress reversals. However, in the intermediate stages when subjected to pulsations or even small number of reversals the fatigue limit may be above the allowable mild steel stress and the higher yield steels can be advantageous. The nearer to static condition the greater the advantage.

Therefore, in design of structures even when subjected to fatigue loadings there may still be a considerable advantage in using high tensile steel and this is very clearly brought out in the British Standard Specification for Bridges (B. S. 153). This is also the case with rivetted and bolted connections.

Professor STÜSSI showed a curve for very high tensile steel with good resistance to fatigue. Was this obtained from plain specimens or fabricated ones, and if fabricated, how?

Summary

Welded high tensile structural steels offer no advantage against welded mild steel when subjected to a large number of critical stress reversals, but can offer significant advantage in less exacting fatigue conditions.

Résumé

Dans les constructions soudées, les aciers à haute résistance ne présentent aucune supériorité par rapport aux aciers doux lorsqu'ils sont soumis à un grand nombre d'efforts alternés; en revanche, ils peuvent présenter des avantages sensibles dans des conditions de fatigue moins extrêmes.

¹⁾ See "Preliminary Publication" — voir «Publication Préliminaire» — siehe «Vorbericht», II d, p. 497.

Zusammenfassung

In geschweißten Konstruktionen und bei einer großen Anzahl kritischer Wechselbeanspruchungen zeigen Stähle hoher Festigkeit keine nennenswerten Vorzüge gegenüber St 37; unter weniger strengen Ermüdungsbedingungen können sie sich jedoch günstig erweisen.

II d 5

Discussion - Discussion - Diskussion

Fatigue Life of Structural Members¹⁾

Résistance à la fatigue des éléments de construction

Ermüdungserscheinungen von Konstruktionsteilen

W. HENDERSON

Scotland

Laboratory research is being directed at the problem of what will happen in material subjected to repeated cycles of fluctuating stress and it is to be expected that in due course we will have a reliable solution which will equate the numbers of varying ranges of stress cycles with the life of a member.

Particularly in relation to highway bridges this leaves the most important problem for the designer still unanswered; how many cycles of stress at varying levels are to be assumed will occur in a given period and what service life is desirable in a member? There are considerable difficulties in providing a suitable answer.

Attempts are at present in hand in Great Britain to make "a priori" derivations from known data of the distribution and possible frequency of varying levels of loading from various types of vehicle and expressing these loading levels in terms of the basic design loading so as to provide a usable basis for calculating stress ranges associated with appropriate numbers of cycles. The available data consists of national statistics relating to the capacity of different classes of vehicle, regulations governing the weights of vehicles, hauliers statistics concerning the numbers of journeys of fully laden and empty vehicles and calculated maximum capacities of traffic lanes on carriageways.

It seems likely that the study will confirm the assumption that in general only members supporting comparatively short loaded lengths are likely to be subject to fatigue conditions. There are two reasons for this; the first being that static design loadings must reflect a possible congestion of heavy traffic unlikely to occur except on rare occasions, so that the upper limit of frequently repeated stress cycles will fall substantially below static design stresses. The second reason being that members supporting long loaded lengths generally have comparatively large dead load stresses. FISHER and VIEST

¹⁾ See "Preliminary Publication" — voir «Publication Préliminaire» — siehe «Vorbericht», II d, p. 497.

have pointed out that changes in minimum stress are of no great significance provided the stress range remains unchanged; nevertheless, increases in dead load stress do in general reduce the stress range, so that it is true to say that the greater the dead load stress the less is the probability of fatigue damage. The likelihood is that it will be found that only members such as battle deck units and short or moderate span fairly closely spaced stringers will be significantly affected by fatigue conditions. That is to say, members in which the maximum stress is caused by one wheel or one axle or possibly one vehicle, and where the minimum stress can be comparatively small.

To forecast the number of cycles and the various ranges of stress it is necessary to predict traffic growth and content over a period of possibly up to 200 years; it is necessary to estimate the proportion of goods vehicles which will be unladen, fully laden and, say, half laden; a guess must be made at the likely spacing at which vehicles will generally travel, and, particularly in the case of members where a small lateral displacement of the wheel load has a major effect on the range of stress, it will be essential to arrive at some estimate of the frequencies with which wheel loads are distributed over a fairly narrow lateral width of carriageway. The combination of all of these forecasts is bound to be a guess with a low probability of accuracy even within a very wide range. Experimental techniques of measuring stress ranges in existing bridges will provide a very little more valid basis than "a priori" methods, since these can relate only to present day and foreseeable future traffic distributions.

Moreover, whatever frequency and range of stress cycles is established for one road is unlikely to be true for another; indeed the spectrum for one part of the width of the bridge will be substantially different from those for other but structurally similar parts of the width. This circumstance cannot be compared with the apparently corresponding static design loading problem. In the latter case a maximum load is being stipulated which the bridge must assuredly sustain although perhaps but rarely in its life. So far as fatigue is concerned one is forced to the conclusion that the forecasting of stress ranges and numbers of cycles in elements of highway bridges over the length of time considered appropriate for the life of a bridge amounts almost to crystal gazing. At best one can conclude that major members are unlikely to be affected in this way and that the danger of fatigue damage is limited to certain elements.

In these circumstances, it is suggested, economic advantage may lie in the adoption of a deliberate policy of accepting that certain members of bridge structures should be considered to have a limited life very much shorter than the life of the whole structure, and to design these members or units so that they can readily and speedily be replaced. Battle decks and other members with high stress ranges would fall into the category which should be considered in this way; the approach is no more than is already adopted for carriageway

surfaces and timber decks and which should be, but is unfortunately not always adopted for those parts which are likely to be damaged by vehicles, as, for example, parapets.

Adoption of this policy would logically lead to a modified approach to the load factors desirable in the design of replaceable members. The consequences of damage whether due to fatigue or other causes could be assessed accordingly as they were immediately catastrophic or relatively insignificant, and the load factor adjusted appropriately. If such a policy were to be consciously and thoughtfully adopted, various other aspects of design would fall to be reconsidered; it is probable that the minimum acceptable thickness of metal could be substantially reduced, methods of fixing and fabrication might well be extensively altered and cheapened, and protective treatment reduced to a once for all process. It is impossible to anticipate the developments which might arise from the adoption of such a policy; it is conceivable, however, that very much lighter and cheaper battle deck construction would develop, and that consequent upon their increasing use, standardised, factory made products would become available. With the improvements of carriageway surfaces it is even possible that these could be applied to the deck in the factory, and would have a service life commensurate with the structural part of the deck.

Whether or not these developments materialise, it remains of real importance to approach the design of members susceptible to damage from fatigue, corrosion or other causes with a view to ready, cheap and quick replacement. In the past there have been many examples of the costliness of failing to do so, as for example where bridge bearings have had to be renewed, or the suspenders of a suspension bridge replaced as a result of corrosion.

Summary

Attention is drawn to the problem of predicting stress cycles in highway bridges and methods of doing so indicated. The units susceptible to fatigue damage are suggested. Design of these for a limited life is proposed and the possible consequences and advantages discussed.

Résumé

On attire l'attention sur le problème de la prévision des cycles d'efforts dans les ponts-routes, en indiquant les méthodes qui permettent d'y procéder ainsi que les éléments qui semblent susceptibles de se détériorer par la fatigue. On propose d'admettre une durée de vie limitée et de les calculer en fonction de cette durée; conséquences éventuelles et avantages sont discutés.

Zusammenfassung

Es wird auf das Problem der Vorhersage der Spannungszyklen bei Straßenbrücken aufmerksam gemacht und entsprechende Methoden werden angegeben. Ermüdungsgefährdete Konstruktionselemente werden erwähnt; der Autor schlägt vor, diese Elemente für eine beschränkte Lebensdauer zu entwerfen, wobei die daraus entstehenden Folgen und Vorteile besprochen werden.

A Counter for the Investigation of Plasticity and Fatigue in Metals

Un compteur pour la recherche de la plasticité et de la fatigue des métaux

Ein Zählrohr für die Forschung nach Plastizität und Ermüdung in Metallen

A. A. VAN DOUWEN

Professor in steel constructions

Technological University of Delft, Holland

C. C. VEERMAN

Scientific officer

Inducing a metal to emit electrons, requires supplying energy to it. This liberating energy may be provided by:

1. raising the temperature of the metal (thermal emission);
2. irradiation of the metal with light (photo-electric effect);
3. applying a very high voltage to the cathode (cold emission);
4. bombarding the metal with high-energy electrons (secondary emission), etc.

When measurements were being made with the aid of brand new counters, it was found that their zero level was very high, to diminish only gradually to normal: [1]. The interior of the counter itself namely, represented in that state of newness a source of electron emission. KRAMER [2] was the first to find out that freshly abraded metal surfaces did emit low-energy electrons, the so-called exo-electrons. The interested reader may be referred to some publications dealing with the subject in question in a general way, cf. [3, 4].

As a rule, it may be stated that the rate of emission of exo-electrons, decreases according to the formula: $I = ct^{-a}$. In this equation, I stands for the intensity (rate) of emission, t for the time elapsed since the surface has been disturbed, c and a are constants determined by the kind of metal, the treatment of the surface, the temperature and the illumination. Furthermore, the gas surrounding the test object, influences the emission also.

Detection of the electron emission is effectuated by means of specially built counters. The energy of the exo-electrons is so low indeed (< 1 eV) that the commercially available counters cannot be put to use. The entrance orifice namely of the latter is covered with a foil, through which the low-energy electrons cannot pass. Much research has been performed with open counters with the use of air of 1 atm., or a mixture of argon and alcohol as counting gases [5]. Other tests have been carried out in vacuo. The electrons, in this case, were accelerated to such a degree that they could pass through the window of a closed counter [6], or could be led into an open electron multiplier [7, 8].

The arrangements mentioned have one disadvantage in common, namely

that small test specimens can be dealt with only. Therefore, they do not seem very useful in technical application, whilst still this electron emission is to be considered as a means to give valuable information in many various problems, such as plastic deformation and fatigue respectively.

If there should exist a correlation between the degree of fatigue and the intensity of the electron emission, it would be possible to test structural parts, for instance, in a non-destructive way, as for fatigue, and, possibly even to predict the eventuality of fracture.

The apparatus which we intended to develop should therefore fulfil the following demands: 1. the counter should remain manageable; 2. it should be able to stimulate the emission; 3. its resolving power should be high. The first-mentioned condition was intended to make the apparatus useful not only for investigating small test objects but also to allow its mounting on large structural parts to be examined (fig. 1).

For stimulating the electron emission the metal surface to be investigated is irradiated with light, as has been done by other investigators too [9, 10, 11]. Our light source is projected through the counting orifice on the metal surface in question (see fig. 1).

The special filtering equipment enables to keep the wavelength of the light striking the metal surface of the test piece below the so-called "limit wavelength" for electron emission of the metall in its undeformed state. Under plastic deformation, a very intense emission occurs.

The counting orifice can be provided with a grid. Under a positive d. c.

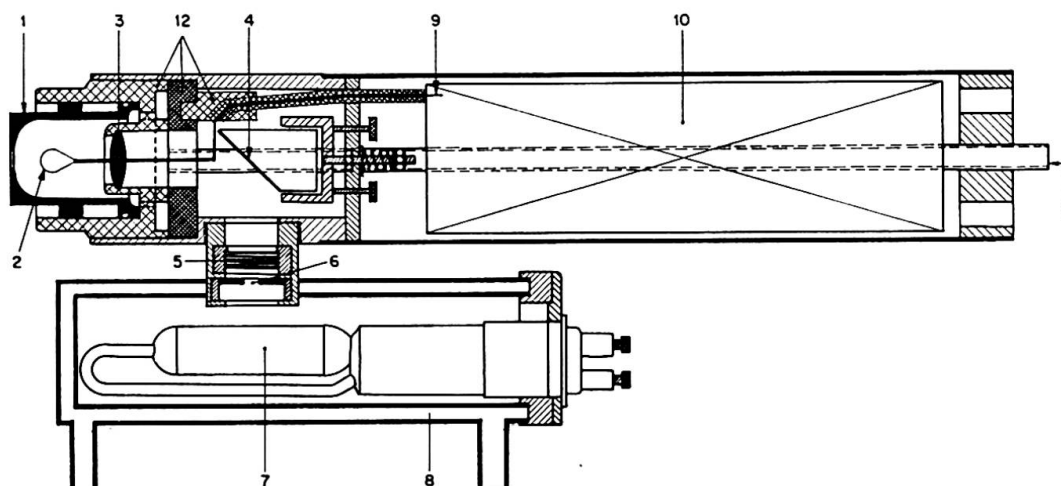


Fig. 1. Flow-counter.

- | | |
|--------------------|-------------------------------------|
| 1 Counting head | 7 High-pressure mercury-vapour lamp |
| 2 Collector wire | 8 Water jacket for cooling |
| 3 Quartz lens | 9 H. V. connection |
| 4 Aluminium mirror | 10 Place for cathode follower |
| 5 Light filter | 11 Gas inlet |
| 6 Diaphragm | 12 Insulation |

potential of the latter, the emission can be stimulated, and the liberated electrons guided into the counting chamber.

As a gas for counting the rate of emission, methane of technical purity was chosen, owing to its very suitable properties to that end. Measurements are carried out in the domain of proportionality [12]. The abundant emission of electrons even in case of considerable plastic deformation may be accurately measured.

The gas flowing at a rate of 10 l/h from the gas cylinder is led, via a drying chamber and a sensitive differential pressure-controller, into the top of the counting chamber, to pass the latter and to escape through the counting orifice.

The counting head is made of stainless steel, with a carefully finished interior surface. The stainless steel collector wire of 50μ diam. is mounted in the counting head. By virtue of the rather small counting orifice (3 mm \varnothing) the problem caused by dust particles, always present when using open flow counters, is virtually eliminated on account of the speed of the outflowing methane. As another considerable advantage of this small orifice may count the screening effect of the bottom of the counting chamber. The eventuality of any cold emission occurring under the large difference of potential between the collector wire and the test piece is greatly diminished in that way.

In Fig. 2 is to be found a schematical presentation of the arrangement for measuring.

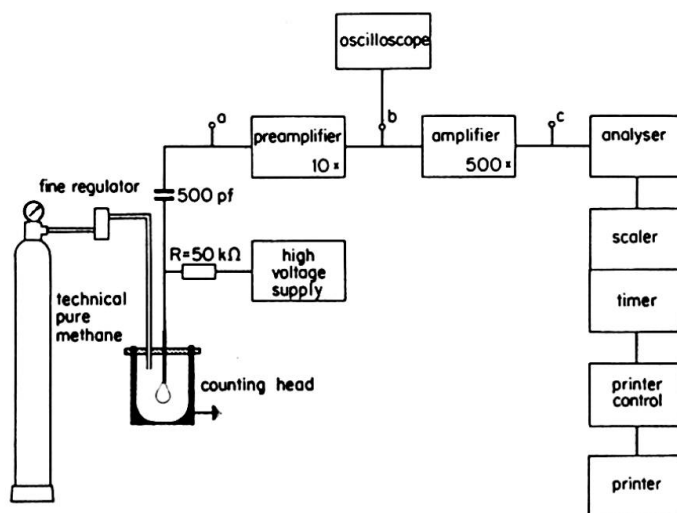


Fig. 2. Block diagram.

The electric capacity of the counter and of the wiring of the input of the pre-amplifier has been kept as low as possible, ± 10 pF. The intermediate capacity, 500 pF, is determined by the input-impedance of the preamplifier. In determining the anode resistance a compromise has been sought between pulse height and pulse duration. In our case 50 kOhm proved fully sufficient. As a requisite, the whole set of equipment should have one single

common earth, in order to obviate interference by pick-up fields from other electric sources. At the points a, b and c an oscilloscope may be connected, enabling to control the shape of the pulse during observation and measurements. The dead time of the entire set-up is not determined by the flow counter, but by that of the apparatus to which it is branched, the latter being $< 2 \mu\text{/sec}$. The counting chamber is regularly calibrated by means of C^{14} , an emitter of β -particles. The "plateau" (fig. 3a), begins at 2600 V and ends at 3000 V, irrespective of the mercury lamp's being switched on or not.

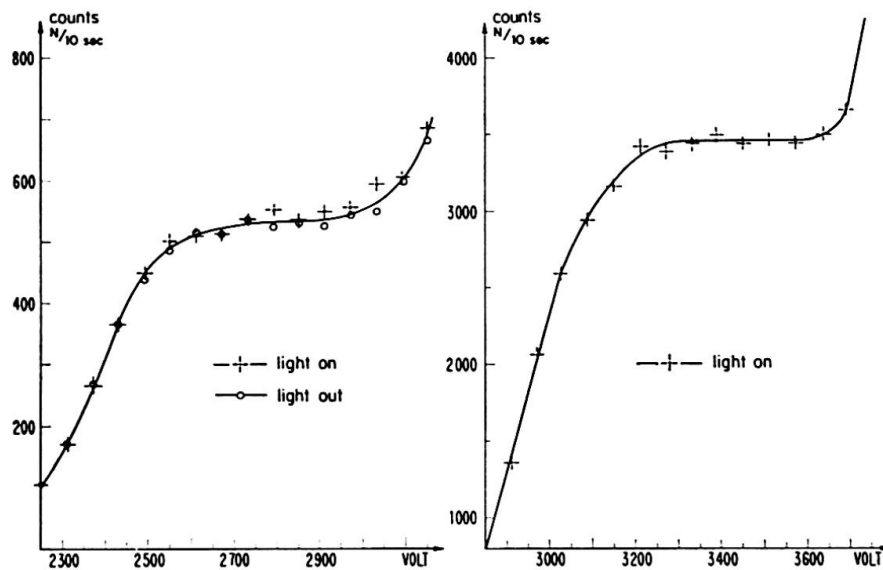


Fig. 3a. Shape of the plateau
C-14.

Fig. 3b. Shape of the plateau
Fe-scratched.

The same measuring is repeated with plastically deformed construction steel (Fig. 3b). In order to obtain accurate measurements for the "plateau", a waiting time has to be included to let the electron emission diminish to a virtually constant rate. The observable presence of a "plateau" is an indication of the fact that the counting head does sufficiently screen off the metal surface, and that no cold emission does occur.

We intend to use the flow counter as a means of research in the domain of plastic strain and of fatigue in construction metals. Some results obtained by means of this flow counter in creep tests of short duration will be given here.

The test bars of mild construction steel (St. 27 yield-limit: 2500 kgf/cm^2 , ultimate tensile stress: 4500 kgf/cm^2) have a measuring length of 25 mm, the cylindrical part having 10 mm diam. The counting head is positioned at a distance of some mm from the surface of the test bar. The stressing load is applied as rapidly as possible and then kept at a constant value. Elongation is measured every 10 seconds, simultaneously with the intensity of the emission occurring. The curves resulting from such experiments pertaining

to the creep phenomenon and the accompanying emission, are plotted, as in Figs. 4 and 5.

From Fig. 4 it may be seen that, after reaching a maximum shortly after completion of the loading, the emission rate decreases. A corresponding maximum is to be found in Fig. 5. In case of pure relaxation the emission drops immediately. In case of creep, however, strain goes on increasing, although the increase in elongation per fraction of time diminishes. This increase in longitudinal strain incites by itself also an emission of electrons. The greater the increase in strain, the greater the increase in emission proves to be. It is from this point of view that the (still not exactly determined) relationship found is to be held liable for the maximum in the curves as observed.

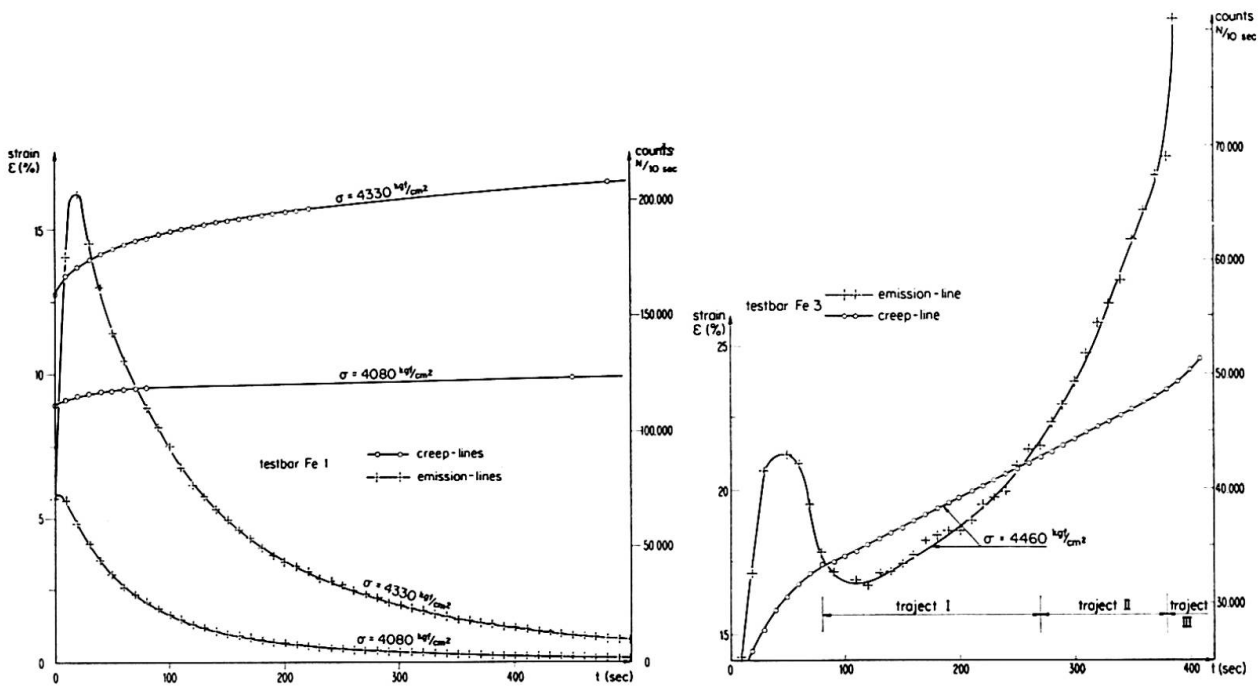


Fig. 4. Curves for creep and electron-emission simultaneously determined with Fe-testbar.

Fig. 5. Curve for creep and electron-emission simultaneously determined with Fe-testbar.

Fig. 5 shows how a minimum is reached after the first maximum recorded. Traject I is covered by the continuous increase of strain at $50 \mu/10 \text{ sec}$, and traject II by a uniformly growing rate of such increase from $50 \mu/10 \text{ sec}$ up to $60 \mu/10 \text{ sec}$, whilst traject III stands for a rapidly growing strain increase from $60 \mu/10 \text{ sec}$ to very large values.

The three trajects in the graphical presentation are to be recognized again in the emission graph, pointing to a clear relation between the rate of strain-increase per unit of time and the rate of electron-emission.

By means of this flow counter an electron emission can be detected, arising from very small plastic deformations. Hence, passing of the elastic limit

(proportionality limit) can be observed, notwithstanding the feeble rate of electron emission above the normal effect under zero stress. We intend to raise the susceptibility of the apparatus in the domain between the elastic limit and the yield point, in order to be able to observe the phenomena more accurately.

References

1. W. B. LEWIS and W. E. BURCHAN: Camb. Proc. Phys. Soc., 32, p. 503 (1936).
2. J. KRAMER: «Der metallische Zustand». (Göttingen: Vanderhoeck and Ruprecht, 1950.)
3. Diskussionstagung «Exo-elektronen». Acta Phys. Austr., 10, p. 313 (1957).
4. L. GRUNBERG: Brit. J. Appl. Phys., 9, p. 85 (1958).
5. L. GRUNBERG and K. H. R. WRIGHT: Proc. Roy. Soc. A, 232, p. 403 (1955).
6. G. BATHOW and H. GOBRECHT: Z. Phys., 146, p. 1 (1956).
7. J. LOHFF and H. RAETHER: Z. Phys. 142, p. 310 (1955).
8. M. HEMPEL, A. KOCHENDÖRFER and A. TIETZE: Arch. Eisenhüttenw. E., 35, p. 465 (1964).
9. J. KRAMER: Z. Phys., 133, p. 629 (1952).
10. H. MÜLLER and F. WEINBERGER: Acta Phys. Austr., 10, p. 409 (1957).
11. I. STEPNIOWSKI and B. SUJAK: Acta Phys. Polon., 23, p. 431 (1963).
12. E. FÜNFER and H. NEUERT: «Zählrohre und Szintillationszähler». (Karlsruhe: G. Braun, 1959.)

Summary

When a metallic surface is plastically deformed an emission of electrons is an accompanying phenomenon (exo-electrons). After a short review of counters devised by others, a description is given of the proportional flow counter developed by us, besides some other test results.

Résumé

Quand une surface métallique est déformée plastiquement, on constate une émission d'électrons (exo-électrons) comme phénomène connexe. Après une description succincte des compteurs développés par d'autres, l'auteur présente une description détaillée du «flow-counter» proportionnel qu'il a construit, ainsi que quelques résultats expérimentaux.

Zusammenfassung

Als Begleiterscheinung der plastischen Deformation von Metalloberflächen tritt eine Elektronenemission auf. Nach einer kurzgefaßten Übersicht über die von andern Forschern konstruierten Zählrohre folgt die Beschreibung eines neuen, proportional anzeigenden Zählrohrs des Verfassers. Es werden einige Versuchsergebnisse angegeben.