

BESTIMMUNG DER DAUERFESTIGKEIT VON ACHSENWERKSTOFFEN FÜR EISENBAHNFahrzeuge, NACH VERSCHIEDENEN DAUERPRÜFMETHODEN

Von
Á. ZSÁRY

Lehrstuhl für Maschinenelemente, der Fakultät für Verkehrswesen
Technische Universität Budapest

(Eingegangen 18. Dezember, 1972)

1. Einleitung

Die Achsen der Eisenbahnfahrzeuge sind Wechselbeanspruchungen innerhalb veränderlicher Grenzen, d. h. nichtstationären Laständerungen ausgesetzt, daher müssen die Dauerfestigkeitskennwerte des Achsenwerkstoffes unbedingt bekannt sein. Die Werkstoffe für Radsatzachsen sind in der ungarischen Norm MSZ 2751—59 angegeben, die jedoch leider keine Vorschriften über die Dauerfestigkeitswerte enthält. Durchführung und Auswertung der geeigneten Dauerversuche bleiben den Fahrzeugbauwerken überlassen.

Eisenbahn-Radsatzachsen sind derart ausgeführt, daß sie sich in stehenden Lagerhäusern mit den Rädern zusammen drehen. Die Hauptbelastung ergibt sich aus dem Wageneigengewicht und dem Ladegewicht, wobei eine Umlaufbiegebeanspruchung entsteht. Bei der Überfahrt über Weichen und Schienenstöße oder in Bögen entstehen auch Seitenkräfte. Durch diese Richtkräfte werden geringere Druckspannungen und weitere Biegespannungen erzeugt. Die durch das Gewicht hervorgebrachte reine Wechselspannung wird also in einem gewissen Grade verändert, bleibt jedoch auch weiterhin die kennzeichnende Hauptbelastung.

Die Eisenbahn-Radsatzachse hat eine ziemlich gegliederte Geometrie, enthält Schultern und Querschnittsübergänge, die Räder werden durch Preßsitz angebracht. Durch diese Tatsachen entsteht eine bedeutende Spannungsanhäufung, durch die die aus den Beanspruchungen annähernd berechnete Spannungsverteilung verändert wird. Die Wirkungen können nicht genau berücksichtigt werden, daher wurden in den meisten Ländern Berechnungsvorschläge oder vorgeschriebene annähernde Berechnungsverfahren erarbeitet.

Es wäre am richtigsten, die Dauerfestigkeitskennwerte von Eisenbahn-Radsatzachsen durch Dauerversuche an genau ausgeführten Achsen in technischem Maßstab zu ermitteln. Das wäre jedoch selbst wenn eine so große Dauerprüfmaschine vorhanden wäre, sehr kostspielig. Es gibt auch im Weltmaßstab nur einige solche Dauerprüfmaschinen, man muß sich daher statt der Dauerprüfung von wirklichen Achsen mit der von Prüfkörpern begnügen.

Die für den Konstrukteur wichtigste Ausgangsangabe ist also die Umlaufbiege-Wechselfestigkeit des Achsenwerkstoffes, die an zylindrischen Prüf-

körpern mit 8 bis 10 mm Durchmesser ermittelt wird. Das weitere Konstruktions-, Berechnungsverfahren baut sich auf diese Ergebnisse auf.

Von den in der genannten Norm angegebenen Werkstoffen wurden von uns die drei gängigsten, ferner des Vergleichs halber an sowjetischer Achsenwerkstoff nach der Norm GOST geprüft. Nach der üblichen Ermittlung der Zusammensetzung und der statischen Kennwerte wurde an zylindrischen Prüfstäben deren Umlaufbiege-Wechselfestigkeit durch nach verschiedenen Methoden durchgeführte Dauerversuche ermittelt.

Geprüfte Werkstoffe:

Gemäß Norm MSZ 2751—59: TN
TM12V
TCrV135

sowie der Achsenstahl für Eisenbahnfahrzeuge gemäß GOST 4728.

2. Bestimmung der statischen Werkstoffkennwerte

Die fabrikmäßig hergestellten Achsen entnommenen Proben wurden teils in den Hüttenwerken »Lenin« in Diósgyőr, teils im Stahlwerk Ganz-MÁVAG analysiert.

Die üblichen statistischen Materialkennwertbestimmungen wurden am Lehrstuhl Maschinenindustrielle Fertigungstechnik der Fakultät für Verkehrswesen an der Technischen Universität Budapest anhand von Meßwerten von je 10 Zugproben \varnothing 8 mm bei 10d Meßlänge durchgeführt, wobei die Proben aus einer Achse herausgearbeitet waren.

Die Homogenität des Gesamtquerschnitts einer Eisenbahnwagenachse bzw. die Gefügeabweichungen werden durch Härtemessungen und mikroskopische Untersuchung nachgewiesen. Die Bilder der in verschiedenen Querschnittspunkten entnommenen mikroskopischen Schliffe zeigen für alle vier Werkstoffe, daß die Achse in ihrem ganzen Querschnitt homogen ist.

Nach den Ergebnissen der durchgeführten Prüfungen sind die Werkstoffe normgerecht und die Probekörper im ganzen und großen gleich homogen.

3. Umlaufbiege-Dauerversuche

Zweck der Versuche war, den zur reinen symmetrischen Wechselbeanspruchung gehörenden, in der ungarischen Norm Wechselfestigkeit genannten Wert σ_v durch Umlaufbiege-Dauerversuche zu ermitteln. Die zu den Dauerversuchen erforderlichen Proben wurden aus einer vorgeschmiedeten Achse herausgearbeitet. Für die Prüfungen bedienten wir uns der Umlaufbiege-

maschine UBM aus der DDR, die zur gleichzeitigen Dauerprüfung von vier Proben geeignet ist. An den Proben wurden die Oberflächenrauigkeit des untersuchten Abschnitts sowie die wichtigen geometrischen Abmessungen bestimmt.

Bei der Dauerprüfung wurde der Mittelabschnitt der Probe mit einem Biegemoment ständiger Größe belastet, d. h. der Biegemomentenverlauf war trapezförmig.

Die zur Verfügung gestellte, verhältnismäßig große Probenzahl gestattete nach mathematisch-statistischen Verfahren die Ermüdungskurve und die Wechselfestigkeit für verschiedene Bruchwahrscheinlichkeiten zu ermitteln, ferner nach dem Treppenstufenverfahren den voraussichtlichen Mittelwert der Wechselfestigkeit zu bestimmen. Von den Kurzprüfverfahren wandten wir die *Locati*-Methode an und die so erhaltenen Ergebnisse wurden mit den nach den anderen Verfahren erhaltenen Angaben verglichen. Die Wechselfestigkeit des Achsenstahls wurde also durch mehrseitige Annäherung bestimmt, ein Umstand, der es ermöglichte, einen Vergleich der Versuchsverfahren anzustellen.

Methode und Wesen der an vier verschiedenen Achsenwerkstoffen durchgeführten Prüfungen sollen am Beispiel des Stahls TM12V gezeigt werden, doch wollen wir die Ergebnisse für alle vier Stähle mitteilen.

3.1 Mathematisch-statistische Methode

Die Wahrscheinlichkeitsverteilung der bei den Versuchen erhaltenen Lebensdauer wird mit der am häufigsten angewandten, logarithmischen Normalverteilungsfunktion, d. h. mit der logarithmischen Variante der Gauß-Verteilung berücksichtigt [1–3, 6]. Die Verteilungsfunktion lautet:

$$P = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\lg N} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\lg N - \overline{\lg N}}{S} \right)^2 \right] d(\lg N),$$

wo $\lg N$ die Wahrscheinlichkeitsveränderliche,

$$S = \sqrt{\frac{\sum (\lg N_i - \overline{\lg N})^2}{n}}$$

die Standardstreuung bedeuten.

Wird ein Koordinatensystem mit logarithmischer Einteilung auf der Horizontalachse und Gaußischem Normalmaßstab auf der Vertikalachse konstruiert, und werden die Versuchsergebnisse in diesem System aufgetragen, so ist die Funktion $P - \lg N$ eine Gerade, selbstverständlich unter der Voraussetzung, daß die durch die Meßpunkte angegebene Lebensdauerverteilung eine Normalverteilung ist.

Bei den Prüfungen wurde für alle vier Stähle als Grenzlastspielzahl $N = 10^7$ angesetzt, die zu ermittelnde Dauerfestigkeit wurde einer Lastspielzahl von 10 Millionen zugeordnet. Es wurden auf vier bis fünf Spannungsniveaus 8 bis 11 Prüfkörper der Dauerprüfung unterworfen.

Die Verteilung der Meßergebnisse, d. h. die Lebensdauerverteilung, ist in Abb. 1 auf Gauß-Papier dargestellt. Die Meßpunkte liegen im wesentlichen in einer Geraden.

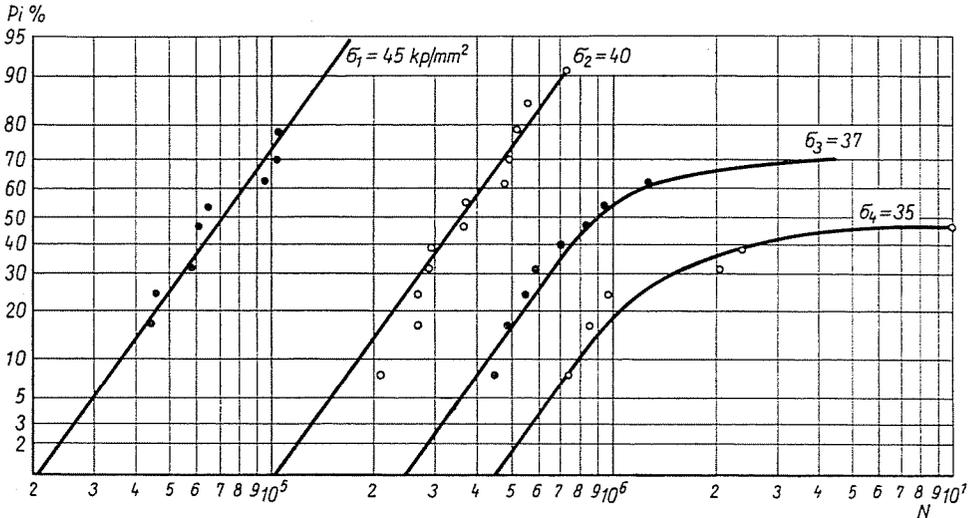


Abb. 1. Lebensdauerverteilungskurve des TM12V Stahls

Bei höheren Bruchwahrscheinlichkeiten weist der Oberteil der Geraden eine Krümmung auf; ein Umstand der darauf hindeutet, daß die Verteilung der Lebensdauer beginnt von der logarithmischen Normalverteilung abzuweichen. Die zu verschiedenen Bruchwahrscheinlichkeiten gehörenden Lastspielzahlen lassen sich von den zu den einzelnen Spannungsniveaus gehörenden Geraden ablesen und aus den so ermittelten Werten wird im üblichen $\sigma - \lg N$ -Koordinatensystem die zur Bruchwahrscheinlichkeit $P = \text{konst.}$ gehörende Dauerfestigkeitskurve konstruiert. Bei unseren Versuchen wurde der Dauerfestigkeitswert für die Bruchwahrscheinlichkeiten

$$P_i = 90\%, 50\%, 10\% \text{ und } 2\%$$

bestimmt. Abb. 2 zeigt die für vier Bruchwahrscheinlichkeiten konstruierten Wöhler-Kurven.

Bei der Konstruktion der Kurven muß sich die zur Lastspielzahl 10 Millionen gehörende Dauerfestigkeit ergeben. Statt den unteren Teil der Kurve einfach zu zeichnen, empfiehlt es sich, die Genauigkeit durch ergänzende

Konstruktion zu erhöhen. Dazu bieten sich mehrere Möglichkeiten. Wir arbeiteten nach zwei Methoden:

a) Am verhältnismäßig einfachsten läßt sich auf die Dauerfestigkeitskurve die Palmgren—Weibull-Gleichung anwenden:

$$\sigma = \sigma_f + b(N + B)^{-m}.$$

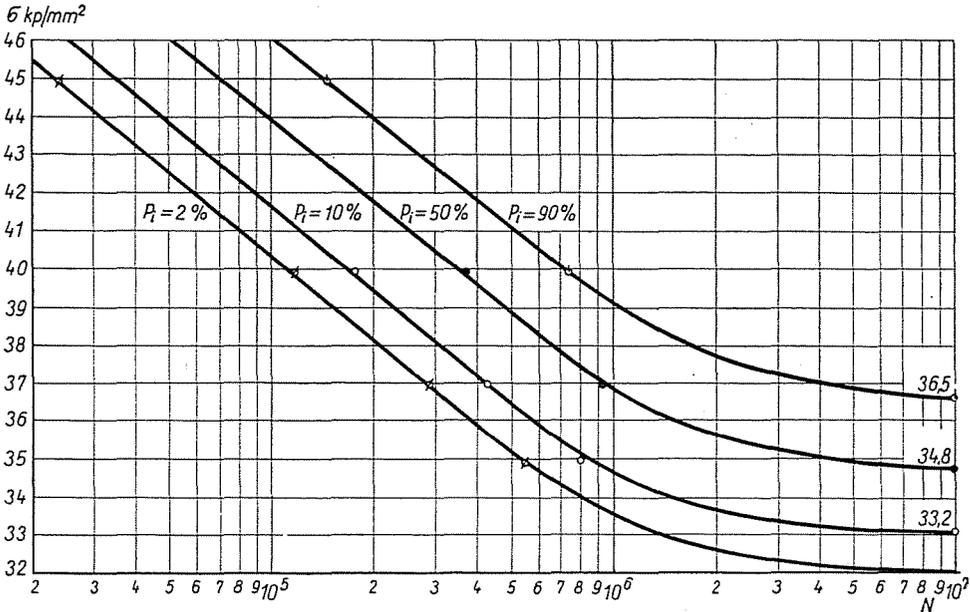


Abb. 2. Dauerfestigkeitskurven des TM12V Stahls für verschiedene Bruchwahrscheinlichkeiten

In der Gleichung sind b die Materialkonstante, m der Formparameter und B der Parameter der Lebensdauerskala, der mit guter Näherung $B = 0$ gesetzt werden darf.

Die Gleichung logarithmiert, erhält man:

$$\lg(\sigma - \sigma_f) = \lg b - m \lg N,$$

die Gleichung der Geraden.

Mit Hilfe der Gleichung lassen sich mit einem Konstruktions-Rechenverfahren zu den entsprechenden Bruchwahrscheinlichkeiten die Dauerfestigkeiten ermitteln [4].

b) Aus dem Fachschrifttum sind die reziproken Darstellungsverfahren bekannt; nach einem derselben wird die Kurve durch folgende Funktion gut angenähert:

$$\sigma = \sigma_f + \frac{A}{ch \lg N}.$$

Hierin bedeuten σ_f die Dauerfestigkeit und A eine Materialkonstante [6].

Die Bezeichnung $U = ch \lg N^{-1}$ eingeführt, erhält man durch Transformation der vorigen Gleichung den Zusammenhang

$$\sigma = \sigma_f + AU.$$

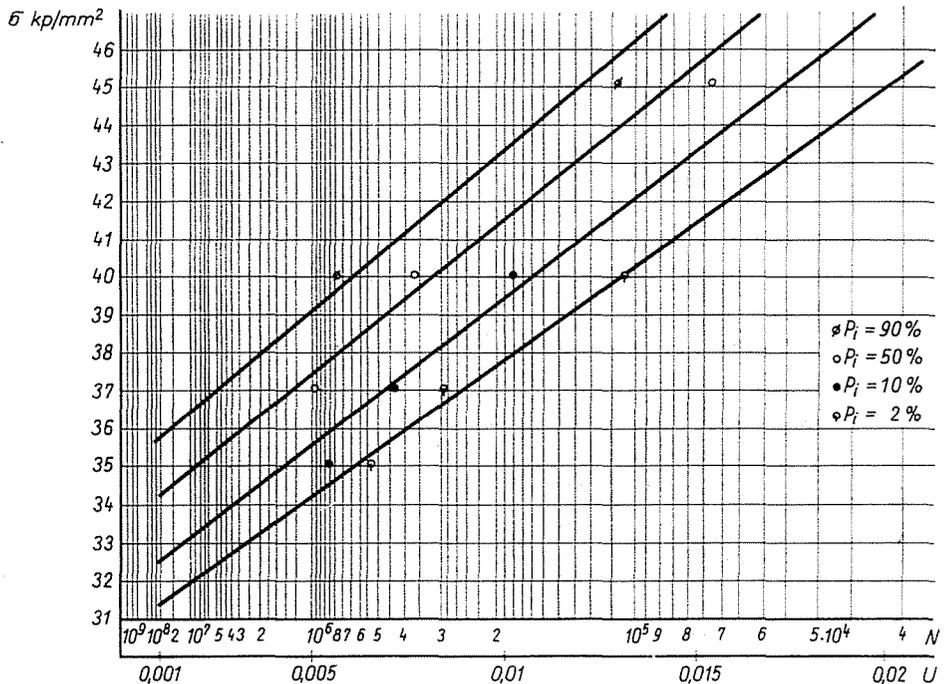


Abb. 3. Dauerfestigkeitskurven des TM12V Stahls bei einer horizontalen Achse mit der Skala $U = (ch \lg N)^{-1}$

In einem Koordinatensystem mit einer nach U linearen Horizontalachse wird diese Funktion mit einer Geraden dargestellt; selbstverständlich werden dabei auf die Vertikalachse, ebenfalls auf einer linearen Skala, die σ -Werte aufgetragen. Für alle Bruchwahrscheinlichkeiten können im gleichen Diagramm die Geraden konstruiert werden, die bei $N = 10^7$ die Dauerfestigkeitswerte ergeben. Abb. 3 zeigt die unter Anwendung der Prüfungsergebnisse konstruierten Geraden für die Bruchwahrscheinlichkeiten $P = 90\%$, 50% , 10% und 2% .

In Kenntnis der Dauerfestigkeit können nun die Dauerfestigkeitskurven in Abb. 2 genauer konstruiert werden. Die nach den Punkten a) and b) bestimmten Dauerfestigkeitswerte sind in Tabelle 1 zusammengefaßt.

Tabelle 1

Dauerfestigkeiten von Achsenstählen für verschiedene Bruchwahrscheinlichkeiten

Werkstoff	$P_i = 90\%$		$P_i = 50\%$		$P_i = 10\%$		$P_i = 2\%$	
	Weibull-Verfahren	Reziprok-Verfahren	Weibull-Verfahren	Reziprok-Verfahren	Weibull-Verfahren	Reziprok-Verfahren	Weibull-Verfahren	Reziprok-Verfahren
TN	27,0	27,8	26,9	27,3	26,8	26,9	26,7	26,8
TM12V	35,8	36,5	34,0	34,8	32,4	33,2	31,2	32,0
TCrV135	31,9	32,1	30,8	31,5	29,5	30,7	29,0	30,15
GOST-Stahl	27,6	27,65	26,5	26,7	24,4	25,5	23,0	24,8

Die nach den zwei Rechenverfahren erhaltenen Werte weisen kaum einen Unterschied auf.

Das Gesagte kurz zusammengefaßt, ergaben die bisherigen Dauerversuche an einer großen Anzahl von Prüfkörpern und die mathematisch-statistische Auswertung mit der erforderlichen Genauigkeit die zu verschiedenen Bruchwahrscheinlichkeiten gehörenden Dauerfestigkeitskurven und -werte.

3.2 Die Locati-Methode

Bei den Kurzverfahren stellt sich die Frage, welche Abweichung sich den klassischen Dauerversuchen gegenüber ergibt. Bei den Prüfungen bedienen wir uns des Locati-Verfahrens, und obwohl nach dieser Methode auch mit einem einzigen Prüfkörper ein Ergebnis erzielt wird, wurden des Vergleichs halber sechs Prüfkörper den Dauerversuchen unterzogen [5, 7—9].

Die für das Verfahren erforderlichen drei angenäherten Dauerfestigkeitskurven wurden für die zu der Lastspielzahl $N = 2 \cdot 10^6$ angesetzten Dauerfestigkeiten 33,36 und 37 kp/mm² konstruiert, und der Zeitfestigkeitsabschnitt wurde in der üblichen Weise als Gerade angenommen. Für die Belastung der Prüfkörper wurden die Spannungsstufen bzw. Lastspielzahlen $\Delta\sigma = 100$ kp/cm² und $\Delta N = 10^5$ festgesetzt. Die Ausgangsspannung der Belastung betrug $\sigma_0 = 33$ kp/mm².

Die nach den für die sechs Prüfkörper gültigen Rechenwerten konstruierten $\Sigma N_i/N_{ii}$ -Kurven ergeben bei $\Sigma N_i/N_{ii} = 1$ die gesuchte Dauerfestigkeit (Abb. 4).

Die Werte der sechs Prüfkörper streuen zwischen $\sigma_f = 35,2 \dots 37,1$ kp/mm², mit dem Mittelwert 36,01 kp/mm².

Die Streuung wird bei der Locati-Methode, da es sich um eine geringe Probenzahl handelt, aus folgender Formel ermittelt:

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma (\sigma_f - \bar{\sigma}_f)^2}{n - 1}} = 0,72.$$

Bei unseren Untersuchungen wurden die Dauerfestigkeitskurven angenähert angesetzt. Die Auswertung wurde jedoch auch unter Zugrundelegung der Dauerfestigkeitskurve für 50prozentige Bruchwahrscheinlichkeit durchgeführt, die im vorstehenden Punkt bestimmt wurde. Auch auf diese Weise lassen sich die Ergebnisse der Locati-Untersuchung feststellen. Von der Bekanntgabe der Diagramme und Tabellen Abstand genommen, erhält man für die sechs Prüfkörper den Mittelwert: $\sigma_f = 35,9 \text{ kp/mm}^2$.

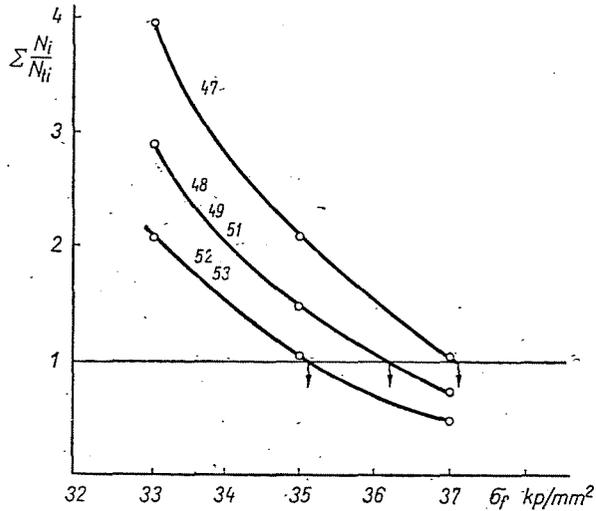


Abb. 4. Schädigungssummenkurven nach der Locati-Methode

Die Auswertung für die vier Werkstoffe durchgeführt, läßt sich feststellen, daß der Unterschied zwischen dem für die angenähert angesetzten Dauerfestigkeitskurven ermittelten Wert und dem für $P_i = 50\%$ ermittelten Wert unbedeutend ist. Die angenäherten Dauerfestigkeitskurven für die Lastspielzahl $N = 2 \cdot 10^6$ wurden als Geraden konstruiert, während die genaue Kurve hyperbolisch ist und die Grenze bei der Lastspielzahl 10 Millionen liegt. Nach den Ergebnissen verursacht diese Abweichung keinen wesentlichen Unterschied.

3.3 Das Treppenstufenverfahren

In der Nähe der voraussichtlichen Dauerfestigkeit wird ein Spannungsbereich angesetzt und in gleiche Stufen unterteilt [10]. Unter Berücksichtigung früherer Untersuchungen wurde bei unseren Versuchen vom niedrigsten Spannungswert 35 kp/mm^2 ausgegangen und als Spannungsstufe $\Delta\sigma = 100 \text{ kp/cm}^2$ festgelegt. Das Wesen der Methode besteht darin, daß falls der n -te Prüfkörper bei einer Spannung σ_i belastet ist und bricht, der nächste $n + 1$ -te

Prüfkörper bei der Spannung $\sigma_i - \Delta\sigma$ der Dauerprüfung zu unterziehen ist. Hält der Prüfkörper die gewählte Lastspielzahl — in den vorliegenden Versuchen 10^7 — aus, so wird der $n + 1$ -te Prüfkörper mit einer Belastung $\sigma_i + \Delta\sigma$ geprüft.

Die Ergebnisse der durchgeführten Versuche zeigt Abb. 5.

Die gebrochenen Prüfkörper sind mit einem geschwärzten Kreis, die nicht gebrochenen, d. h. überlebenden Prüfkörper mit einem leeren Kreis bezeichnet.

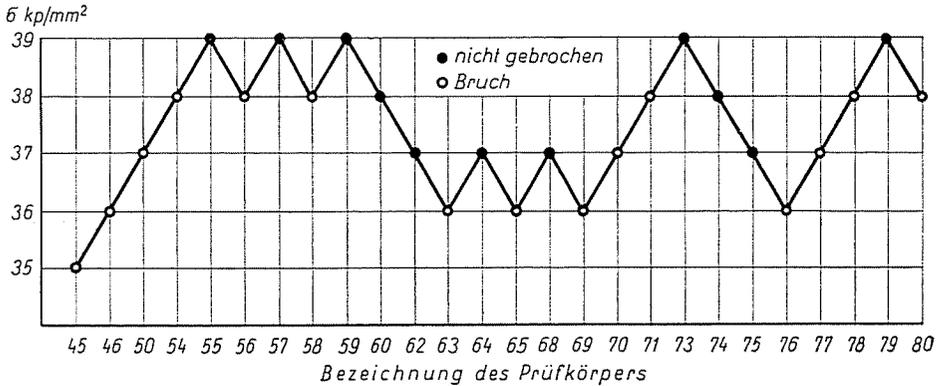


Abb. 5. Dauerfestigkeitswerte des TM12V Stahls nach dem Treppenstufenverfahren

Es scheint zweckmäßig, die Auswertung tabellarisch vorzunehmen. Die Berechnung wird jeweils für den weniger häufigen Fall (Überleben oder Bruch) durchgeführt. Jeder Spannungsstufe wird ein Index i gegeben, u. zw. wird die niedrigste Stufe des weniger häufig vorkommenden Ereignisses mit dem Index $i = 0$ bezeichnet. Für die Berechnung erforderliche weitere Begriffe:

- σ_0 die niedrigste Stufe des weniger häufig vorkommenden Ereignisses
- $\Delta\sigma$ die Spannungsstufe
- i Index der Spannungsstufe
- f_i Vorkommen des weniger häufigen Ereignisses auf dem Niveau i .

Nach dieser Theorie ist der voraussichtliche Mittelwert der Dauerfestigkeit:

$$\bar{\sigma}_f = \sigma_0 + \Delta\sigma \left[\frac{\sum i f_i}{\sum f_i} \pm 0,5 \right],$$

im vorliegenden Falle $\bar{\sigma}_f = 36,6$ kp/mm².

Das Vorzeichen von 0,5 in der Formel ist positiv, wenn das Überleben das häufigere Ereignis ist, und negativ, wenn der Bruch häufiger vorkommt. Für die Streuung der Dauerfestigkeit gilt die Beziehung:

$$S = 1,62 \Delta\sigma \left[\frac{\sum f_i \sum i^2 f_i - (\sum i f_i)^2}{(\sum f_i)^2} + 0,029 \right] \approx 1,36.$$

4. Schlußfolgerungen

In den Untersuchungen werden im wesentlichen drei verschiedene Methoden erfaßt. Das mathematisch-statistische Verfahren ist das nützlichste, es erfordert jedoch auch den größten Zeit- und Rechenaufwand. Die nach den drei Methoden erhaltenen Dauerfestigkeitswerte sind in Tabelle 2 zusammengefaßt.

Tabelle 2

Vergleichende Tabelle der Dauerfestigkeiten von Achsenstählen

Werkstoff	TN	TMI2V	TCrV135	GOST
Für $P_i = 50$, math.-stat., Weibull	26,9	34,0	30,8	26,5
Für $P_i = 50$, math.-stat., Rezipr.	27,3	34,8	31,5	26,7
Locati-Verfahren für Näherungskurve	27,2	36,1	31,4	27,6
Locati-Verfahren für die Kurve $P_i = 50$	27,1	35,9	31,4	27,4
Treppenstufen-Verfahren	28,3	37,6	31,13	28,0

Das Locati- und das Treppenstufenverfahren liefern nur mittlere Werte der Dauerfestigkeit, lassen sich daher mit dem Wert der statistischen Methode für die Bruchwahrscheinlichkeit $P_i = 50\%$ vergleichen.

Die an sechs Prüfkörpern nach der Locati-Methode ermittelte Dauerfestigkeit darf theoretisch für am wenigsten richtig gelten, da diese Methode auf der Miner-Theorie beruht, deren Grundsätze nicht unbestreitbar sind. Stehen Prüfkörper nur in beschränkter Zahl zur Verfügung und handelt es sich um eine Vergleichsprüfung, erhält man allenfalls für die Industriepraxis gut brauchbare Ergebnisse. Die im vorliegenden Falle erhaltene Dauerfestigkeit stimmt mit dem nach der statistischen Methode ermittelten Wert gut überein, obwohl die Ergebnisse etwas höher ausfielen.

Das Treppenstufenverfahren liefert bei 20 bis 50 Prüfkörpern zuverlässige Ergebnisse; die statistische Methode ist jedoch vorzuziehen, da bei 50 Prüfkörpern auch die Dauerfestigkeitskurven mit der Bruchwahrscheinlichkeit P_i konstruiert werden können. Der Mittelwert der nach dem Treppenstufenverfahren erhaltenen Dauerfestigkeit ist höher als das Ergebnis des mathematisch-statistischen Verfahrens. Theoretisch entspricht es lediglich dann der zur 50prozentigen Bruchwahrscheinlichkeit gehörenden Dauerfestigkeit, wenn auch bei der Anwendung des »Treppenstufenverfahrens« 40 bis 50 Prüfkörper den Dauerversuchen unterzogen werden. Im vorliegenden Falle war deren Anzahl zufolge der Gegebenheiten niedriger.

Alle drei Prüfmethode liefern in Kenntnis ihrer Mängel für den Maschinenbauer gut brauchbare Ergebnisse.

Zusammenfassung

In den vergangenen Jahrzehnten waren in der Entwicklung der Dauerprüfverfahren im wesentlichen zwei Richtungen zu verzeichnen. Die eine dieser Richtungen ist die Prüfung auf statistischer Grundlage, die für den Entwurfsingenieur zuverlässige Ausgangsdaten liefert, die andere ist durch Kurzverfahren vertreten, die im Betrieb rasch durchgeführt werden können.

Im Beitrag wird die Bestimmung der Dauerfestigkeit von vier Achsenwerkstoffen für Schienenfahrzeuge nach verschiedenen Verfahren behandelt; es werden die nach den einzelnen Methoden erhaltenen Ergebnisse verglichen, wobei sich die Möglichkeit ergibt, gewisse Folgerungen zu ziehen.

Literatur

1. YULE-KENDALL: Einführung in die Theorie der Statistik.* Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, 1964. Bp.
2. PRÉKOPA A.: Wahrscheinlichkeitstheorie.* Műszaki Könyvkiadó, 1962. Bp.
3. WEIBULL, W.: Statistical Representation of Fatigue Failures in Solids. Stockholm, 1949.
4. WEIBULL, W.: Fatigue Testing and Analysis of Results. Pergamon Press, 1961. London—Oxford—New York—Paris.
5. MINER, M. A.: Cumulative damage in fatigue. Journal of Applied Mechanics, 12/1945/A-159.
6. MATOLCSY M., MARTÉNYI S.: Statistische Auswertung von Dauerprüfungen.* MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl. Bd. 35. 1965.
7. LOCATI, L.: Le prove di fatica come ausilio alla progettazione ed alla produzione. Metallurgia Italiana 47/1955. 301.
8. LOCATI, L.: Sul criterio di prova ad azione progressiva. Metallurgia Italiana 51/1959/179.
9. CAZAUD, R.: Evaluation de la limite de fatigue à partir d'une seule éprouvette, pièce ou d'élément d'essai. Acta Techn. Hung. 35—36 (1961) 27.
10. BÜCHLER N., W. SCHREIBER: Lösung einer Aufgabe der Dauerschwingfestigkeit mit dem Treppenstufenverfahren. Archiv für Eisenhüttenwesen, 28 (1957) 3, 153.

* In ungarischer Sprache

Dr. Árpád ZsÁRY, 1450 Budapest, Postfach 93, Ungarn