

# DAUERVERSUCHSBIEGEPROBE AN KURBELWELLENMODELLEN

Von

O. SZAMOSVÖLGYI

Lehrstuhl für Maschinenelemente, Technische Universität Budapest

(Eingegangen am 17. April 1968)

Vorgelegt von Prof. Dr. I. Vörös

Zweck der Prüfungen war das Verhalten gleichbeanspruchter Kurbelwellenmodelle aus gleichem Material, doch von verschiedenen Abmessungen zu bestimmen. Weiterhin war der Verlauf der bis zur Ribbildung erreichten Lastspielzahlen im Verhältnis zu den Normzahlen der Toleranz zu prüfen.

Kritische Stelle des auf Biegung beanspruchten Kurbelwellenmodells ist der Übergang von Kurbelwellenzapfen und Pleuel in Richtung des Hauptlagerzapfens. In jedem Falle entstanden an dieser Stelle die Risse und griffen auf den Pleuel über. Die Abrundungen an beiden Seiten des Zapfens (Übergang zum Pleuel) wurden mit Ölfilm (Qualität MM60) versehen. Die Makrorisse ergaben eine Veränderung der Ölschicht. An der Ribstelle entstand ein kleiner, weißer, aus Bläschen bestehender Fleck. Der Fleck ließ sich abwischen, die Bläschen wurden aber nach kurzer Zeit auf der Ölschicht wieder sichtbar. Die Größe des Bläschens nahm mit der Ausdehnung der Risse zu. Das Auftreten der Bläschenbildung wurde als Beginn der Ribbildung betrachtet.

Material der Prüfmodelle: A50 (nach DIN 1611: St50.11)

Die Prüfungen wurden an drei Gruppen von Modellen durchgeführt. Die Einteilung erfolgte nach den Abmessungen der Versuchswellen, in Gruppen I, II und III. Abbildung 1 zeigt Gestaltung und Abmessungen der Modelle. Die Dauerversuchsbiegeprobe erfolgte mit Hilfe einer Hochfrequenz-Zugdruckmaschine (Pulsator) mit dem Belastungsbereich von  $\pm 10$  Mp, Typ Alfred J. Amsler Co.

Abb. 2 zeigt die erforderliche Spannvorrichtung. Die Abmessungen beziehen sich auf die Einspannung der größten Modelle (Gruppe). Die kleineren Modelle, Gruppe II und III wurde mit proportional kleineren Vorrichtungen eingespannt. Die Dauerversuchsbiegeprobe führten wir in der vertikalen Lage des Modells durch.

Die Lastkraft wurde durch das mit  $a$  bezeichnete Gewindeverbindungsstück auf die Druckplatte  $b$  übertragen. Die sich an den Kurbelwellenzapfen anschließende Oberfläche der Druckplatte ist gehärtet. Die Hauptlagerzapfen der Kurbelwellenmodelle stützen sich auf die Sitze  $c$  auf, deren Oberflächen ebenfalls gehärtet sind. Die Anschlußstellen der Druckplatte und Sitze sind

gewölbt, und die Lagerdurchmesser sind größer als die der Bolzen. Dadurch beabsichtigten wir den Druckverlauf der Gleitlager nachzubilden. Die Sitze *c* liegen auf je vier Zylinderrollen *d* von  $8 \times 8$  mm  $\emptyset$ . Die Rollen stützen sich auf die gehärteten und ebenen Flächen der Führungsschuhe *d* auf. Die Führungsschuhe sind an der Grundplatte *f* mit je 2 Halbrundsrauben befestigt.

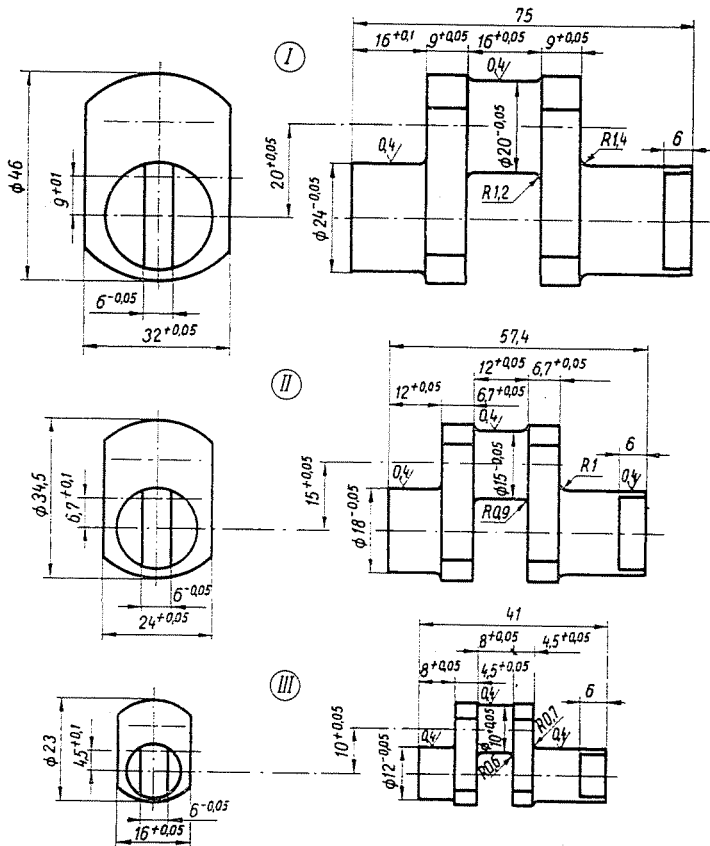


Abb. 1. Kurbelwellenmodelle für Dauerversuchsbiegeproben

Auf der Grundplatte befindet sich eine Einlassung mit einem Durchmesser von 135 mm. Hieran schließt sich die Halterung des Dynamometers an. Die Richtung der Belastung ist durch Pfeile gekennzeichnet. Unter der Wirkung der Belastung verformt sich das Kurbelwellenmodell. Das Entstehen einer durch Deformation verursachten Axialverschiebung wurde durch die Rollenauflagerung ermöglicht. Auf der Grundplatte *f* wurde mit 2 M10 Sechskantschrauben *h* der Gleitbock *i* befestigt, in dessen Kerbe *j* sich das auf dem Kopfbolzen ausgebildete Führungsstück von leichtem Laufsitz lagert. Diese Lösung sichert die vertikale Lage des Versuchsmodells.

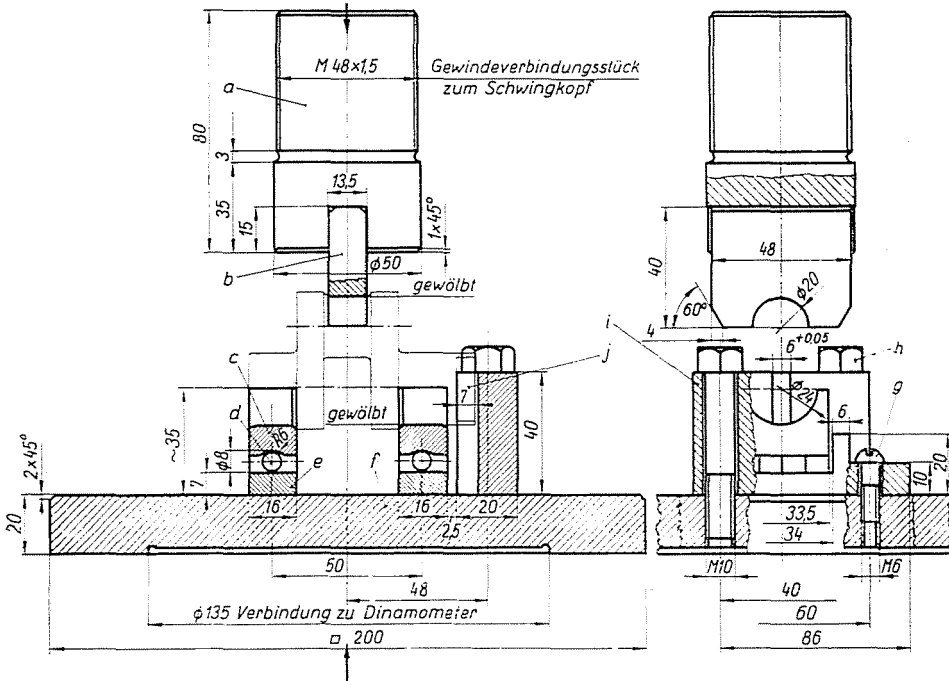


Abb. 2. Spannvorrichtung für Dauerversuchsbiegeprobe der Kurbelwellenmodelle

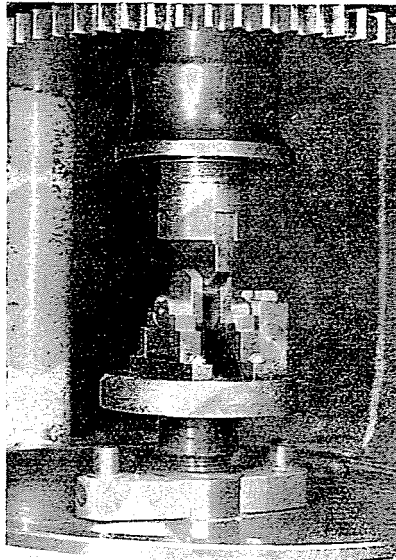


Abb. 3. Kurbelwellenmodell in der Zug-Druckmaschine

Abb. 3 zeigt das Kurbelwellenmodell in der Zugdruckmaschine.

### Das Verfahren der Dauerversuchsbiegeprobe

Das Verfahren der Dauerversuchsbiegeprobe wurde auf Vorschlag von GILLEMOT und CZOBOLY\* bestimmt. Vor allem sollten für die drei Modelle verschiedener Abmessungen die vereinfachten Wöhlerkurven ermittelt werden. Wir unterwarfen die Prüfstäbe einer größeren und einer kleineren Spannung so, daß der Bruch bei der vorgeschlagenen  $10^5$  und  $0,5 - 1 \cdot 10^6$  Lastspielzahl eintreten sollte. Die auf solche Weise bestimmte Abfallflanke der Wöhlerkurve bzw. deren Depressionswinkel wurden auf log-Normalpapier aufgezeichnet. Der Spannungswert, bei dem diese Flanke die Linie der Lastspielzahl  $2 \cdot 10^6$  schneidet, gilt als Dauerfestigkeitsgrenze der approximativen Wöhlerkurve. Laut des Vorschlags sollten bei jedem Spannungswert 5 Prüfwellen bis zum Bruch belastet werden und aus den erreichten Lastspielzahlen war der Mittelwert zu bilden. Von dem Vorschlag abweichend unterwarfen wir nicht 5, sondern 9 Prüfwellen der größeren Spannung. Die Grenzen der Dauerfestigkeit von Kurbelwellenmodellen bestimmten wir nach der Locati-Methode.

Die Spannungsstufen wurden dem Vorschlag gemäß zu etwa  $1 \text{ kp/mm}^2$ , und die Lastspielzahl der Belastungsstufe zu  $10^5$  gewählt. Die Anfangsspannung für die Locati-Methode wurde ebenfalls dem Vorschlag entsprechend bestimmt.

Nach Festlegung der unteren Grenze der Dauerfestigkeit wurden 9 Prüfwellen nach der Locati-Methode bis zum Bruch belastet. Die erreichten Grenzen wurden statistisch ausgewertet.

Bei der Bestimmung der Abfallflanke der Wöhlerkurve wurde die eine Spannung bei allen drei Modellen auf gleichem Niveau (Nennspannung) erhalten.

#### Dauerversuch der Kurbelwellenmodelle bei ständiger Beanspruchung

Für die Bestimmung der Abfallflanke der Wöhlerkurve haben wir die Spannungsstufe aller drei Modellgruppen bei einer Mittelspannung

$$\sigma_m = 18,4 \text{ kp/mm}^2$$

in

$$\sigma_a = \pm 14,00 \text{ kp/mm}^2$$

Ausschlagspannung festgelegt.

Die zu den an der Maschine noch zuverlässig einstellbaren, einzelnen Belastungskräften gehörigen Spannungswerte sind in der Tabelle 1 zu finden.

Von jeder Gruppe wurden je 9 Modelle geprüft, die Meßergebnisse sind in der Tabelle 2 angegeben.

\* L. GILLEMOT—E. CZOBOLY: Die Bestimmung von Streuung der Dauerfestigkeit durch graduelle Belastung. August, 1966. Gép Jahrgang XVIII, H 8. S. 289—294.

Tabelle 1

	Bezeichnung des Kurbelwellenmodells		
	I	II	III
Mittlere Belastung $F_m$ (kp)	1700	960	425
Mittelspannung $\sigma_m$ (kp/mm <sup>2</sup> )	18,4	18,4	18,399
Schwellige Belastung $F_a$ (kp)	$\pm 1300$	$\pm 730$	$\pm 325$
Ausschlagspannung $\sigma_a$ (kp/mm <sup>2</sup> )	$\pm 14,07$	$\pm 13,99$	$\pm 14,069$

Tabelle 2

Kurbelwellenmodell I $\sigma_m = 18,4$ kp/mm <sup>2</sup> $\sigma_a = \pm 14,07$ kp/mm <sup>2</sup>			Kurbelwellenmodell II $\sigma_m = 18,4$ kp/mm <sup>2</sup> $\sigma_a = \pm 13,99$ kp/mm <sup>2</sup>			Kurbelwellenmodell III $\sigma_m = 18,399$ kp/mm <sup>2</sup> $\sigma_a = \pm 14,069$ kp/mm <sup>2</sup>		
Probestückzahl	Lastspielzahl $N \cdot 10^5$		Probestückzahl	Lastspielzahl $N \cdot 10^5$		Probestückzahl	Lastspielzahl $N \cdot 10^5$	
	bis zur Riß- bildung	bis zum Dauer- bruch		bis zur Riß- bildung	bis zum Dauer- bruch		bis zur Riß- bildung	bis zum Dauer- bruch
3	2,06	3,46	22	2,42	6,39	2	8,90	11,50
4	1,15	1,75	23	1,55	3,00	3	5,30	11,10
5	1,74	3,02	24	3,60	6,70	4	6,50	13,65
8	1,73	2,79	25	3,10	4,72	6	6,30	15,48
9	1,53	2,40	26	2,02	4,57	7	4,40	9,75
20	1,17	2,55	27	1,59	4,74	8	4,40	10,77
21	1,04	2,62	28	1,43	3,23	9	3,32	8,12
22	0,85	1,61	29	2,90	7,74	10	4,60	14,24
24	1,28	2,76	30	2,87	4,88	11	3,77	7,47
Durchschnittswert	1,39	2,55	Durchschnittswert	2,33	5,13	Durchschnittswert	5,27	11,34

Die Lastspielzahlen bis zum Dauerbruch wurden — innerhalb der einzelnen Gruppen — ihren Größen nach geordnet. Die aus je 9 »Bruchwerten« ergebenden Resultate wurden — bei der Bestimmung der Bruchwahrscheinlichkeit — in das Gaußsche Netz angeführt (Abb. 4). (Das Gaußsche Netz haben wir gewählt, weil aus den 9 Meßwerten auf keine Weibull-Verteilung zu schließen war.)

Wenn die Brüche nach Gleichung

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

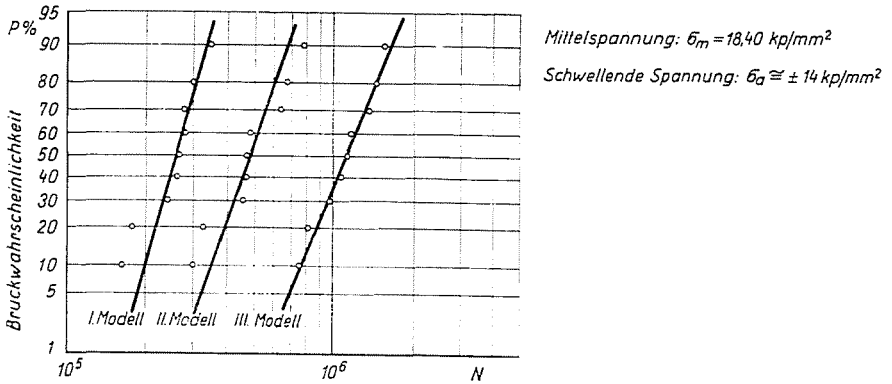


Abb. 4. Gaußsche Verteilung der Brüche an Kurbelwellenmodellen

der Gesetzmäßigkeit der Gaußschen Verteilung folgen, liegen die Punkte in dem Gaußschen Netz in einer Geraden.

Je kleiner die Anzahl ist, aus welcher — eine Gaußsche Verteilung vorausgesetzt — der Charakter der Bruchverteilung ermittelt wird, desto größer sind die Abweichungen von dieser Geraden.

Die Bezeichnung in der Gleichung (1):

$\overline{\lg N}$  = Mittelwert der Logarithmen der Lebensdauer,

$S_N^2$  = empirische Quadratstreuung, welche aus der Gleichung

$$S_N^2 = \frac{(\lg N_1 - \overline{\lg N})^2 + (\lg N_2 - \overline{\lg N})^2 + \dots + (\lg N_n - \overline{\lg N})^2}{n - 1} \quad (2)$$

berechnet wird, wo

$$\lg N_1, \lg N_2, \dots, \lg N_n$$

die Logarithmen der Lebensdauer der einzelnen Modelle,

$n$  = die Anzahl der Probestücke bedeuten.

Die empirischen Streuungswerte wurden tabellarisch bestimmt:

$$S_{NI} = 0,1072$$

$$S_{NII} = 0,1372$$

$$S_{NIII} = 0,1072$$

Um die Abfallflanke der Wöhlerkurve bestimmen zu können, mußten wir die Prüfungen auch bei einer anderen Spannung durchführen. Dafür belasteten wir 5 Kurbelwellenmodelle je Gruppe. Belastungswerte und Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengefaßt. Die zum Bruch gehörigen zwei Span-

Tabelle 3

Kurbelwellenmodell I $\sigma_m = 18,4 \text{ kp/mm}^2$ $\sigma_a = \pm 10,82 \text{ kp/mm}^2$			Kurbelwellenmodell II $\sigma_m = 18,4 \text{ kp/mm}^2$ $\sigma_a = \pm 17,25 \text{ kp/mm}^2$			Kurbelwellenmodell III $\sigma_m = 18,4 \text{ kp/mm}^2$ $\sigma_a = \pm 16,45 \text{ kp/mm}^2$		
Probestückzahl	Lastspielzahl $N \cdot 10^5$		Probestückzahl	Lastspielzahl $N \cdot 10^5$		Probestückzahl	Lastspielzahl $N \cdot 10^5$	
	bis zur Riß- bildung	bis zum Dauer- bruch		bis zur Riß- bildung	bis zum Dauer- bruch		bis zur Riß- bildung	bis zum Dauer- bruch
7	5,74	9,94	32	0,92	2,30	13	2,36	6,16
10	2,93	3,67	33	0,80	2,26	14	2,60	4,43
11	4,35	7,95	34	0,63	2,47	15	2,85	5,43
12	4,10	6,95	35	0,42	2,15	16	3,10	5,10
30	2,67	7,80	36	0,53	1,46	17	1,38	3,10
Durch- schnitts- wert	3,95	7,26	Durch- schnitts- wert	0,66	2,12	Durch- schnitts- wert	2,44	4,84

nungen ergaben bei allen drei Gruppen die vereinfachten Wöhlerkurven (Abb. 5, 6 u. 7). Die zwei dünnen Linien bedeuten die Wöhlerkurve, die wir für Auswertung der Locati-Methode verwendet haben.

### Dauerversuch nach der Locati-Methode

Die Kennwerte für den Locati-Dauerversuch beim *Modell I* bestimmten wir, wie folgt:

$F_m = 1700 \text{ kp}$  mittlere Belastung,

$\sigma_m = 18,4 \text{ kp/mm}^2$  Mittelspannung,

$F_s = \pm 100 \text{ kp}$  Belastungsstufe,

$\sigma_s = \pm 1,08 \text{ kp/mm}^2$  Spannungsstufe,

die dazugehörige Lastspielzahl:  $10^5$ .

Die im Falle einer Anfangsspannung  $\sigma_1 = \pm 5,41 \text{ kp/mm}^2$  erhaltenen Bruchwerte sind in der Tabelle 4 angegeben. Der Durchschnitt der Dauerfestigkeitsgrenzwerte von drei Modellen beträgt  $\bar{\sigma}_k = 7,88 \text{ kp/mm}^2$ .

Um die die untere Grenze ergebende Anfangsspannung zu ermitteln, belasteten wir weitere drei Modelle mit  $\sigma_1 = \pm 4,33 \text{ kp/mm}^2$  als Anfangsspannung. Bei diesen Modellen ergab sich ein Durchschnitt von  $\bar{\sigma}_k = 7,53 \text{ kp/mm}^2$ . Kleineren Wert könnten wir auf der Maschine zuverlässig nicht einstellen, so prüften wir weitere 6 Modelle von derselben Anfangsspannung aus. Die Ergebnisse der Prüfungen sind in der Tabelle 5 zu finden.

Die Berechnung für die Bestimmung der Dauerfestigkeitsgrenzen der einzelnen Kurbelwellenmodelle wurden tabellarisch durchgeführt. Abb. 5

Tabelle 4

Kurbelwellenmodell I			
$\sigma_m = 18,4 \text{ kp/mm}^2$		$\sigma_s = \pm 1,08 \text{ kp/mm}^2$	
		$\sigma_1 = \pm 5,41 \text{ kp/mm}^2$	
Serienzahl des Modells	höchstes Spannungsniveau $\sigma_t \text{ kp/mm}^2$	Lastspielzahl bei $\sigma_t$ $10^5$	Dauerfestigkeitsgrenze $\bar{\sigma}_k \text{ kp/mm}^2$
13	15,15	0,72	9,00
14	14,07	0,19	7,30
18	14,07	0,24	7,35
Durchschnittswert der Dauerfestigkeitsgrenze			7,88

Tabelle 5

Kurbelwellenmodell I			
$\sigma_m = 18,4 \text{ kp/mm}^2$		$\sigma_s = \pm 1,08 \text{ kp/mm}^2$	
		$\sigma_1 = \pm 4,35 \text{ kp/mm}^2$	
Serienzahl des Modells	höchstes Spannungsniveau $\sigma_t \text{ kp/mm}^2$	Lastspielzahl bei $\sigma_t$ $10^5$	Dauerfestigkeitsgrenze $\bar{\sigma}_k \text{ kp/mm}^2$
15	14,07	0,19	7,30
16	12,99	0,19	6,20
17	15,15	0,80	9,10
19	14,07	0,65	7,75
25	12,99	0,24	6,25
26	12,99	0,85	6,92
27	15,15	0,22	8,48
28	14,07	0,70	7,85
29	12,99	0,45	6,50
Durchschnittswert der Dauerfestigkeitsgrenze			7,37

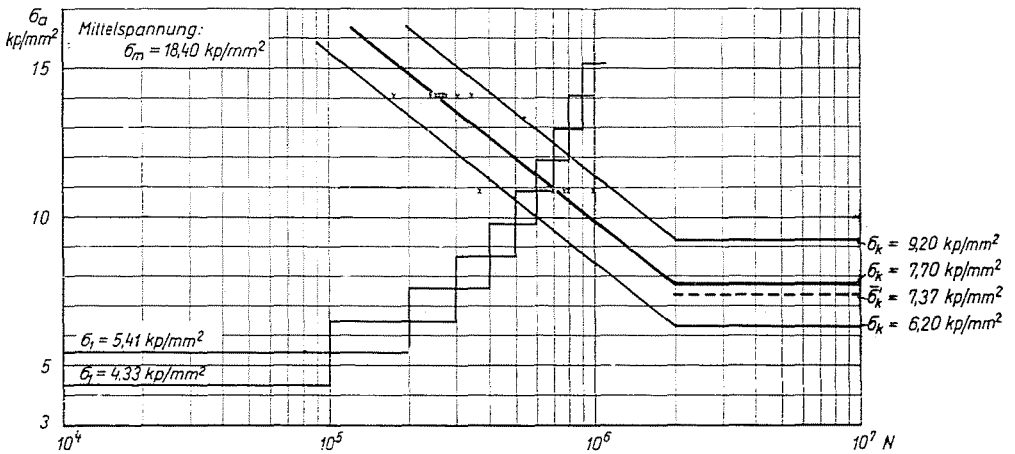


Abb. 5. Vereinfachte Wöhlerkurve des Kurbelwellenmodells I mit der Bruchgrenze



enthält zu den zwei Anfangsspannungen gehörige Belastungsstufen. Die Strichellinie zeigt den aus der Locati-Methode ergebnen Durchschnitt der Dauerfestigkeitsgrenze von 9 Modellen. Dieser Wert ist  $\sigma'_k = 7,37 \text{ kp/mm}^2$ . Die Kennwerte für den Locati-Versuch beim *Modell II*:

$$\begin{aligned} F_m &= 960 \text{ kp mittlere Belastung,} \\ \sigma_m &= 18,4 \text{ kp/mm}^2 \text{ Mittelspannung,} \\ F_s &= \pm 60 \text{ kp Belastungsstufe,} \\ \sigma_s &= \pm 1,15 \text{ kp/mm}^2 \text{ Spannungsstufe,} \end{aligned}$$

die dazugehörige Lastspielzahl:  $10^5$ .

Anfangswert der periodisch schwankenden Spannung  $\sigma_1 = \pm 5,75 \text{ kp/mm}^2$ . Bei diesem Anfangswert wurden drei Modelle geprüft. Die Ergebnisse sind in die Tabelle 6 eingetragen. Der Durchschnittswert der Dauerfestigkeitsgrenze beträgt bei dieser Anlaufspannung:  $\bar{\sigma}_k = 9,43 \text{ kp/mm}^2$ .

Tabelle 6

Kurbelwellenmodell II			
$\sigma_m = 18,4 \text{ kp/mm}^2$		$\sigma_s = \pm 1,15 \text{ kp/mm}^2$	$\sigma_1 = \pm 5,75 \text{ kp/mm}^2$
Serienzahl des Modells	höchstes Spannungsniveau $\sigma_l \text{ kp/mm}^2$	Lastspielzahl bei $\sigma_l$ $10^5$	Dauerfestigkeitsgrenze $\bar{\sigma}_k \text{ kp/mm}^2$
19	17,25	0,39	9,80
20	16,10	0,35	8,70
40	17,25	0,40	9,80

Durchschnittswert der Dauerfestigkeitsgrenze 9,43

Um die die untere Grenze der Dauerfestigkeit ergebende Spannung bestimmen zu können, wählten wir bei weiteren drei Modellen den Anfangswert zu  $\sigma_1 = \pm 6,90 \text{ kp/mm}^2$ . Daraus ergab sich ein Durchschnittswert von  $8,55 \text{ kp/mm}^2$ .

Abb. 6 zeigt die zu den zwei Anfangsspannungen gehörigen Stufen. Der Erfahrung nach ist eine größere Anlaufspannung als  $\pm 6,90 \text{ kp/mm}^2$  nicht zweckmäßig. Eine größere Spannung beschränkte nämlich den Grenzwert der Dauerfestigkeit. Daher prüften wir weitere 6 Modelle von dieser Anfangsspannung ausgehend. Die Ergebnisse der 9 Prüfungen sind in Tabelle 7 eingetragen. Die Strichellinie in Abb. 6 zeigt den nach der Locati-Methode ermittelten Durchschnittswert der Dauerfestigkeitsgrenzen von 9 Modellen, der sich zu  $\bar{\sigma}_k = \pm 8,93 \text{ kp/mm}^2$  ergab.

Die Kennwerte für den Locati-Versuch beim *Modell III* wählten wir zu

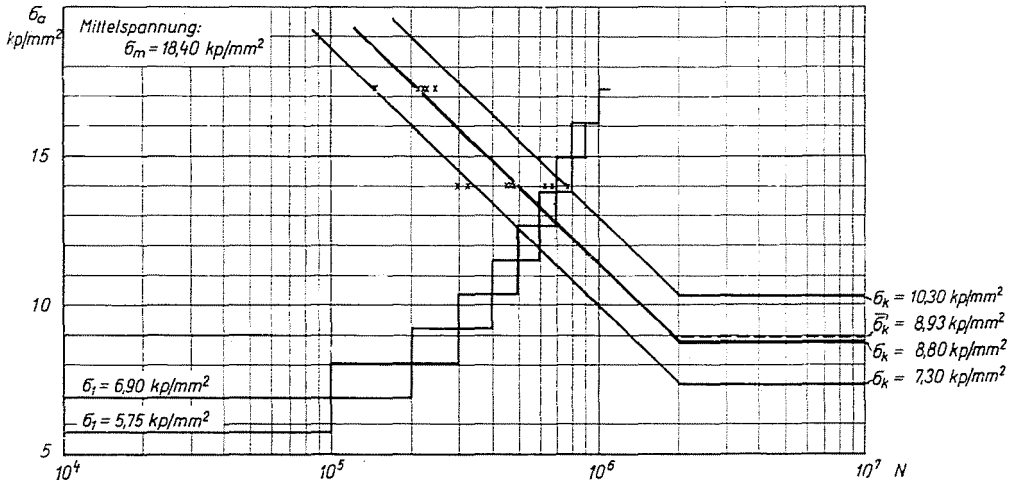


Abb. 6. Vereinfachte Wöhlerkurve des Kurbelwellenmodells II mit der Bruchgrenze

Tabelle 7

Kurbelwellenmodell II			
$\sigma_m = 18,4 \text{ kp/mm}^2$		$\sigma_s = \pm 1,15 \text{ kp/mm}^2$	$\sigma_l = \pm 6,90 \text{ kp/mm}^2$
Serienzahl des Modells	höchstes Spannungsniveau $\sigma_l \text{ kp/mm}^2$	Lastspielzahl bei $\sigma_l \cdot 10^5$	Dauerfestigkeitsgrenze $\bar{\sigma}_k \text{ kp/mm}^2$
37	16,10	0,88	9,15
38	16,10	0,37	8,60
39	14,95	0,73	7,90
41	16,10	0,76	9,05
42	17,25	0,97	10,30
43	16,10	0,36	8,50
44	14,95	0,33	7,40
45	17,25	0,56	10,00
47	17,25	0,13	9,50

Durchschnittswert der Dauerfestigkeitsgrenze 8,93

$F_m = 425 \text{ kp}$  mittlere Belastung,

$\sigma_m = 18,4 \text{ kp/mm}^2$  Mittelspannung,

$F_s = 20 \text{ kp}$  Belastungsstufe,

$\sigma_s = 0,865 \text{ kp/mm}^2$  Spannungsstufe,

die Lastspielzahl:  $10^5$ .

Als Anfangswert der Stufenbelastung für drei Modelle wählten wir zuerst  $\sigma_l = 9,52 \text{ kp/mm}^2$ . Von diesen erreichte das Modell Nr. 18 bei  $16,45 \text{ kp/mm}^2$  und  $0,39 \cdot 10^5$  Lastspielzahl den Dauerbruch. Es entspricht einer Dauerfestigkeitsgrenze von  $\sigma_k = 10,80 \text{ kp/mm}^2$ .

Die Modelle Nr. 26 und 27 ertrugen die höchst erreichbare Ausschlagsspannung  $\sigma_a = \pm 17,32 \text{ kp/mm}^2$  ohne Bruch. Größere Spannung war wegen der Spannvorrichtung nicht zu erreichen, da diese auf schwellende Beanspruchung vorgesehen wurde. Eine Steigerung der Belastung wäre auch darum zwecklos gewesen, weil in Kenntnis der vorigen Ergebnisse festgestellt werden konnte, daß sich von diesem Anfangswert aus nicht die untere Dauerfestigkeitsgrenze ergeben hätte.

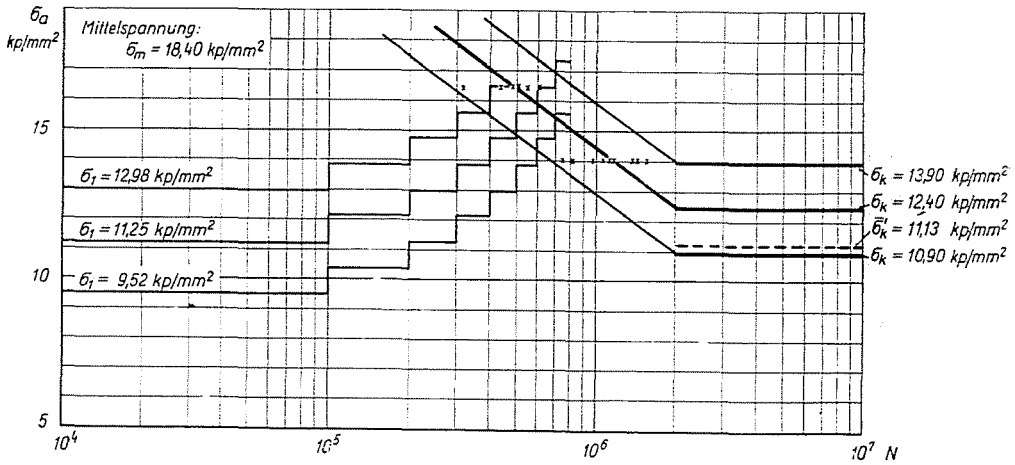


Abb. 7. Vereinfachte Wöhlerkurve des Kurbelwellenmodells III mit der Bruchgrenze

Wir haben noch ein weiteres Modell, Nr. 30, geprüft, und zwar von  $\sigma_1 = \pm 12,98 \text{ kp/mm}^2$  ausgehend.

Letzteres brach bei der  $\sigma_a = \pm 16,45 \text{ kp/mm}^2$  und  $0,85 \cdot 10^5$  Lastspielzahl. Es entspricht einem Durchschnitt von  $\sigma_k = 10,90 \text{ kp/mm}^2$ .

Aus Abb. 7, welche die zu den verschiedenen Anfangsspannungen gehörigen Belastungsstufen darstellt, ist ersichtlich, daß diese Anfangsspannung immer über der voraussichtlichen Dauerfestigkeitsgrenze liegt, so ist es keineswegs wahrscheinlich, daß eben diese Spannung die untere Grenze zur Folge hätte.

Bei einer Anfangsspannung  $\sigma_1 = 11,25 \text{ kp/mm}^2$  prüften wir zuerst drei Modelle, wobei sich der Durchschnittswert  $\sigma_k = 10,77 \text{ kp/mm}^2$  ergab, und später weitere 6 Modelle. Tabelle 8 enthält die Ergebnisse dieser Prüfung.

Der Durchschnittswert der Dauerfestigkeitsgrenzen von 9 Modellen, also  $\bar{\sigma}_k = 11,13 \text{ kp/mm}^2$  wurde in die Abbildung 7 mit Strichlinie eingetragen.

Wir überprüften, ob die nach der Locati-Methode ermittelten Grenzwerte der Gesetzmäßigkeit der Gaußschen Verteilung folgen. Die Grenzwerte der Dauerfestigkeit der verschiedenen Modelle wurden innerhalb ihrer Gruppe der Größe nach geordnet. Die aus je 9 Grenzwerten ergebenden Resultate sind — bei Bestimmung ihrer Wahrscheinlichkeit — in das Gaußsche Netz eingetragen (Abb. 8).

Tabelle 8

Serienzahl des Modells	Kurbelwellenmodell III		
	$\sigma_m = 18,4$ kp/mm <sup>2</sup>	$\sigma_s = \pm 0,865$ kp/mm <sup>2</sup>	$\sigma_l = \pm 11,25$ kp/mm <sup>2</sup>
	höchstes Spannungsniveau $\sigma_l$ kp/mm <sup>2</sup>	Lastspielzahl bei $\sigma_l$ $10^5$	Dauerfestigkeitsgrenze $\bar{\sigma}_k$ kp/mm <sup>2</sup>
28	16,45	0,15	10,65
29	16,45	0,48	10,90
19	16,45	0,34	10,78
20	16,45	0,51	10,90
21	17,31	0,47	11,75
22	15,58	0,51	10,01
23	16,45	0,86	11,21
24	17,31	0,92	12,10
25	17,31	0,71	11,90

Durchschnittswert der Dauerfestigkeitsgrenze 11,13

Aus Abb. 8 stellt sich heraus, daß die Punkte bei allen drei Modellgruppen in einer Geraden liegen.

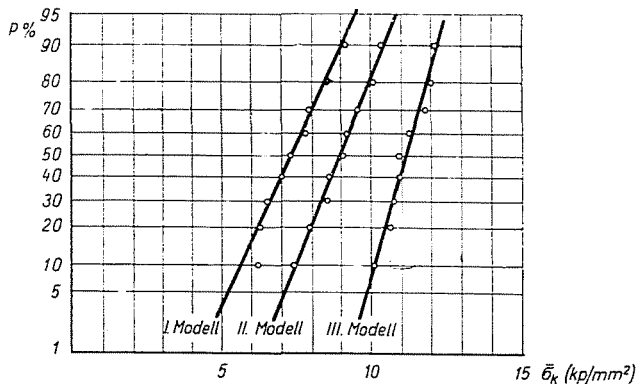


Abb. 8. Gaußsche Verteilung der Dauerfestigkeitsgrenze. Dauerfestigkeit nach der Locati-Methode

Die empirischen Streuungswerte:

$$S_{\sigma I} = 0,955$$

$$S_{\sigma II} = 0,888$$

$$S_{\sigma III} = 0,626$$

Wie schon erwähnt, haben wir während der Prüfungen den Beginn der Ribbildung beobachtet und gaben in den Tabellen die zugehörigen Lastspielzahlen an. Wir haben hier zu bemerken, daß die ergebnisse des Locati-Ver-

suches die Ribbildung betreffend nur bei dem Kurbelwellenmodell I als Basis gelten. Die Anfangsspannung des Dauerversuches wurde der Bestimmung der Bruchverhältnisse entsprechend, und nicht für Prüfung der Ribbildung angesetzt. In Anbetracht der Maßverhältnisse der Modelle hätten auch die Anfangsspannungen immer niedriger gewählt werden müssen, dies war aber wegen der beschränkten Probestückzahl nicht zu verwirklichen.

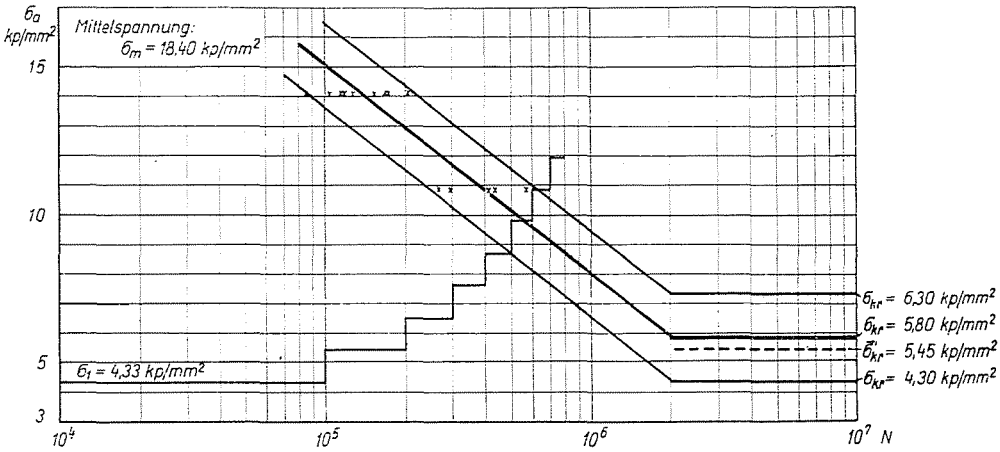


Abb. 9. Zur Ribbildung gehörige vereinfachte Wöhlerkurve des Kurbelwellenmodells I

Abb. 9 zeigt die Abfallflanke der Wöhlerkurve für das Modell I, bei welcher die Ribbildung beginnt. Grenzspielzahl:  $2 \cdot 10^6$ . Die dazugehörige Dauerfestigkeitsgrenze aus der approximativen Wöhlerkurve entnommen:

$$\sigma_{kr} = 5,8 \text{ kp/mm}^2 \text{ (kritischer Wert).}$$

Die zur Ribbildung gehörigen Lastspielzahlen für alle 9 bei gleicher Spannung geprüften folgen ziemlich gut der Gaußschen Verteilung (Abb. 10).

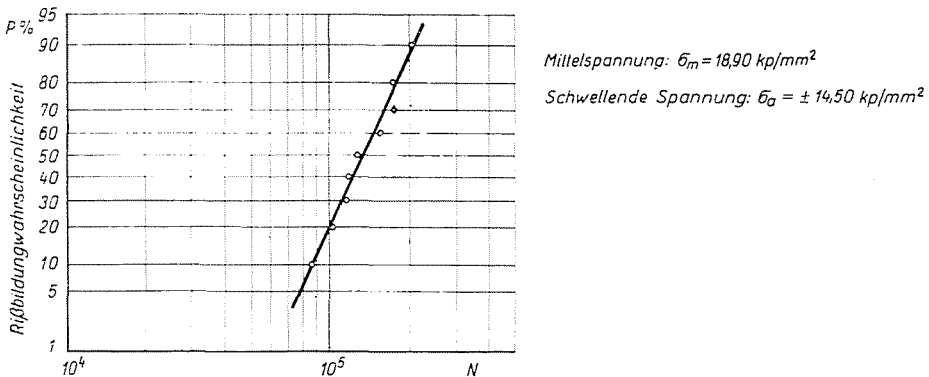


Abb. 10. Gaußsche Verteilung der Risse. Bei ständiger Spannung beanspruchtes Kurbelwellenmodell I

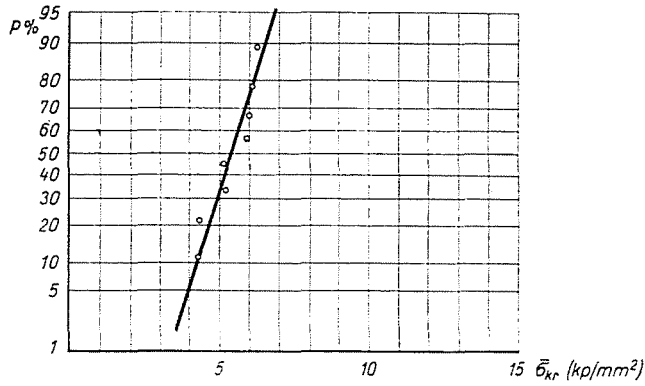


Abb. 11. Gaußsche Verteilung der Dauerfestigkeitsgrenzen bei Rißbildung Nach der Locati-Methode beanspruchtes Kurbelwellenmodell I

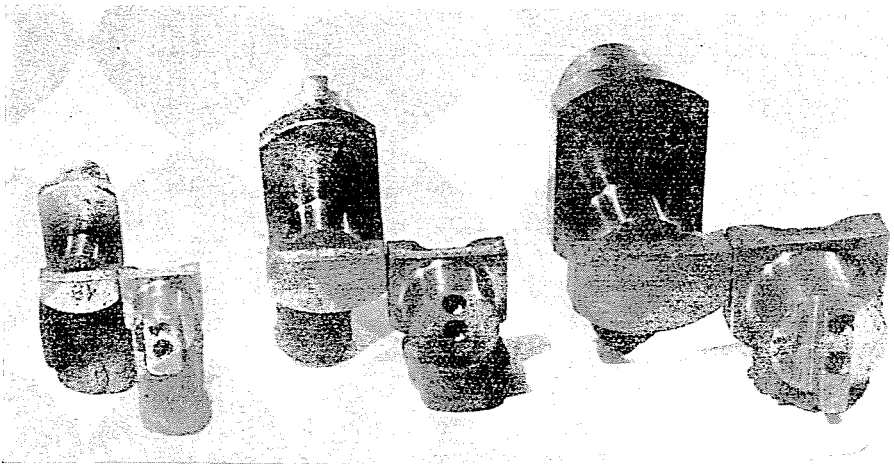


Abb. 12. Brüche an drei Modellen. Beanspruchung bis zum Dauerbruch

Abbildung 11 zeigt die Gaußsche Verteilung der Dauerfestigkeitsgrenzen von 9, nach der Locati-Methode geprüften Wellen (Gruppe I).

Diese Dauerfestigkeitsgrenzen sind aus den der Rißbildung zugeordneten Spannungen und Lastspielzahlen errechnet worden. Gerechneter Durchschnitt:  $\bar{\sigma}_{kr} = 5,45$  kp/mm<sup>2</sup>.

Die bei der Dauerversuchsbiegeprobe zum Dauerbruch geprüften Modelle sind in Abb. 12 dargestellt.

## Schlußfolgerungen

a) Bei Kurbelwellenmodellen kann man — bezüglich der Rißbildung — eine Wöhlerkurve bestimmen und deuten. Die Erfahrungen der Biegeproben zeigen, daß die Möglichkeit besteht, die Dauerfestigkeitsgrenze der Rißbildung nach der Locati-Methode bestimmen zu können.

b) GILLEMOT und CZOBOLY haben mit ihrer Versuchsmethode bewiesen, daß der Durchschnitt der Dauerfestigkeitsgrenzen nach der Locati-Methode mit demselben nach der Wöhlerkurve approximativ gleich ist, gesetzt den Fall, daß es sich um einfache, zylindrische Probestäbe handelt, welche gleichzeitiger Biege- und Drehbeanspruchung unterworfen sind. Der Dauerversuch der Kurbelwellenmodelle führte zur Folgerung, daß diese approximative Kongruenz nicht nur bei einfachen zylindrischen, sondern auch bei komplizierten Werkstücken vorhanden ist.

c) Stellen und Charakter der Brüche an gleichbeanspruchten Kurbelwellenmodellen von verschiedenen Abmessungen stimmen miteinander überein. Die an Modellen durchgeführten Dauerversuche enthüllten die kritischen Stellen der wirklichen Kurbelwelle, und gaben die Möglichkeit, die Konstruktionsfehler an Modellen zu korrigieren.

## Zusammenfassung

Mit den dargelegten Versuchen haben wir das Verhalten gleichbeanspruchter Kurbelwellenmodelle gleichen Materials, aber von verschiedenen Abmessungen, weiterhin den Verlauf der erreichten Lastspielzahlen bei Rißbildung und Bruch geprüft.

Die Ergebnisse der Versuche beweisen, daß eine Kongruenz zwischen den Dauerfestigkeitsgrenzen der Wöhlerkurve bzw. jenen der Locati-Methode — auch bei komplizierteren Werkstücken — vorhanden ist.

Es besteht die Möglichkeit, die Dauerfestigkeitsgrenze — bei der sich Makrorisse bilden — nach der Locati-Methode zu bestimmen.

Stelle und Charakter der Brüche an gleichbeanspruchten Kurbelwellenmodellen von verschiedenen Abmessungen weisen eine Übereinstimmung auf.

Dr Ottó SZAMOSVÖLGYI, Budapest, XI., Múgyetem rkp. 3. Ungarn