

M I T T E I L U N G E N A U S D E M
I N S T I T U T F Ü R M A S C H I N E N W E S E N
D E R T E C H N I S C H E N U N I V E R S I T Ä T
C L A U S T H A L
I N S T I T U T S D I R E K T O R P R O F . D R . - I N G . A . K U S K E

N R . 2 / 7 3

Die Arbeiten, die an dem Institut für Maschinenwesen ausgeführt werden, beziehen sich in erster Linie auf die Spannungsanalyse an Bauteilen verschiedener Form und Belastungsart. Hierfür werden analytische, numerische und experimentelle Verfahren benutzt. Das Ziel solcher Untersuchungen ist stets, Unterlagen für die Beurteilung bzw. Verbesserung von Konstruktionen zu schaffen.

Hierüber wird zwar in Veröffentlichungen, Dissertationen, Vorträgen usw. berichtet, jedoch wünschen an diesem Gebiet Interessierte konzentrierte Hinweise z.T. bereits vor der Veröffentlichung.

Diesem Zwecke sollen diese Mitteilungen dienen, die in unregelmäßigem Abstand erscheinen werden.

Von den bereits erschienenen Dissertationen kann auf Wunsch ein Exemplar geschickt werden.

Diese vorliegende Ausgabe ist die zweite. Wenn Sie die Zusage auch der weiteren wünschen, teilen Sie dies bitte mit an:

Institut für Maschinenwesen
der Technischen Universität Clausthal
3392 Clausthal-Zellerfeld

Festigkeit und Lebensdauer von Strangpreßmatrizen Optimieren nach spannungsoptischen Versuchen

Prof. Dr.-Ing. Albrecht Kuske

1. Ursache der Schäden

Strangpreßmatrizen, z.B. zum Herstellen von Hohlprofilen aus Aluminium, werden sehr hohen Beanspruchungen unterworfen und dies bei sehr hohen Temperaturen. Bei vielen in der Industrie benutzten Matrizen zeigte sich, daß die Spannungen weit über der Dauerfestigkeit des Werkstoffes bei diesen Temperaturen lagen, so daß sie eine sehr begrenzte Lebensdauer zeigten.

Eine Verbesserung durch Senken der Temperatur (über 500°C) ist nicht möglich, da sie das Verformen des Aluminiums sehr erschweren würde. Die Wahl eines Werkstoffes höherer Festigkeit ist ebenfalls nicht durchführbar, da hier bereits die Werkstoffe mit den günstigsten Festigkeitseigenschaften verwendet werden. Dagegen bot es sich an, die Form der Matrizen so zu verändern, daß die maximalen Spannungen innerhalb der zulässigen Grenzen für diesen Werkstoff bei der gegebenen Temperatur liegen. Erfahrungen mit vielen anderen Konstruktionen, z.T. ganz anderer Art, hatten gezeigt, daß die Möglichkeiten der spannungsgünstigen Formgebung von den Konstrukteuren oft nicht voll genutzt werden. |1, 2, 3|

Kritisch bezüglich ihrer Festigkeit sind die Werkzeugteile, die die Innenkontur formen. Es wird bei dem Preßvorgang durch verschiedene Kraftwirkungen beansprucht (s. Abb. 1):

1. Druckkraft auf die Stirnflächen der Stege
2. Druckkraft auf die Dornköpfe
3. Reibkräfte auf allen Flächen, die das Preßgut berührt
4. Zugkraft quer zur Preßrichtung durch Innendruck auf Hohlquerschnitte (bei Kammerwerkzeugen)

2. Wege zur Verbesserung

Zum Optimieren der Lebensdauer eines Werkzeuges wird durch spannungsoptische Versuche zunächst die Verteilung der Spannung und natürlich insbesondere die maximale Spannung unter der Gesamtlast und unter den genannten Lastanteilen festgestellt. Aufgrund von Erfahrungen und Überlegungen werden Modellformen mit Verbesserungen ausgeführt und spannungsoptisch untersucht. Die Veränderung der Form zur Verbesserung der Spannungsverteilung wird so lange durchgeführt, bis die zugelassene maximale Spannungshöhe nicht überschritten wird. Natürlich ergeben sich insbesondere aus Versuchsreihen mit verschiedenen Werkzeugarten allgemeine Erkenntnisse, die es dem Konstrukteur ermöglichen, von vornherein offensichtlich ungünstige Formen zu vermeiden. Das Ausschöpfen, auch der letzten Verbesserungsmöglichkeiten, erfordert aber, daß das spezielle Teil in der beschriebenen Weise untersucht wird.

3. Entwickelte Form mit günstigen Festigkeitseigenschaften

Es zeigte sich bei den spannungsoptischen Untersuchungen am Institut, daß die Ursachen für vorzeitige Ausfälle der Werkzeuge durch verschiedene konstruktive Mängel bedingt waren und entsprechend beseitigt werden konnten. Brüche gingen fast immer von dem Übergang vom Steg zum Dorn aus [4].

Daher wurde die Kerbwirkung an dieser Stelle zunächst betrachtet. Es zeigte sich, daß die Vergrößerung des Kerbradius allein nicht die Möglichkeiten ausschöpfte. Wenn die Form dieses Überganges dem Kraftfluß angepaßt wird, d.h. der Radius veränderlich gehalten wird, kann die Spannungskonzentration weiter gesenkt werden.

Die Nennspannung an dieser Stelle ist durch die unter 1 und 2 genannten Kräfte neben der Reibung bedingt. Die Wirkung der Last auf den Steg läßt sich durch Vergrößern der Höhe des Steges vermindern. Eine erhebliche Verringerung der Last auf den Steg ist auch dadurch möglich, daß man einen zweiten Steg in geringem Abstand über dem eigentlichen Werkzeug anbringt, so daß es zumindest an dieser Stelle kaum noch durch Druck belastet wird. Es wird dann lediglich noch durch die Reibkraft beansprucht.

Ferner kann u.a. die durch die Last auf den Steg verursachte Biegespannung durch Überlagerung einer Druckspannung quer zur Preßrichtung vermindert werden. Eine solche Druckspannung kann durch die Auflagekraft des Werkzeuges erzeugt werden, wenn diese Lager entsprechend gestaltet sind. Die unter 2 genannte Kraft auf den Dornkopf kann durch solche Maßnahmen kaum beeinflußt werden. Die durch diese Kraft verursachte Zugspannung in dem Dornkopf stellt aber nur einen Teil der Ursache für die Spannungskonzentration an dem Übergang dar. Ihre Wirkung kann dadurch vermindert werden, daß man den Punkt der stärksten Krümmung möglichst weit von dem Dorn entfernt an die Unterseite des Steges verlegt. Dies hätte an sich die ungünstige Wirkung, daß die höhere Biegespannung durch die Last auf den Steg zu einer höheren Nennspannung führen würde. Aber durch die o.g. Maßnahmen kann die Spannung an dieser Stelle weitgehend reduziert werden, so daß auch die Spannungskonzentration durch diese Kerbwirkung keine Rolle mehr spielt.

Die Untersuchungen wurden in der Weise durchgeführt, daß zunächst an einem räumlichen Modell nach dem Erstarrungsverfahren der bisherige Zustand qualitativ und quantitativ ermittelt wurde. Die genannten Verbesserungsmaßnahmen konnten dann an ebenen Modellen erprobt werden. Bei solchen ebenen Modellen ist die Veränderung und erneute Untersuchung der veränderten Form rascher durchführbar.

Die Möglichkeiten, die Größe der Kräfte, die das Preßmaterial auf das Werkzeug ausübt, zu verändern, werden mit Hilfe von plastischem Material spannungsoptisch untersucht werden.

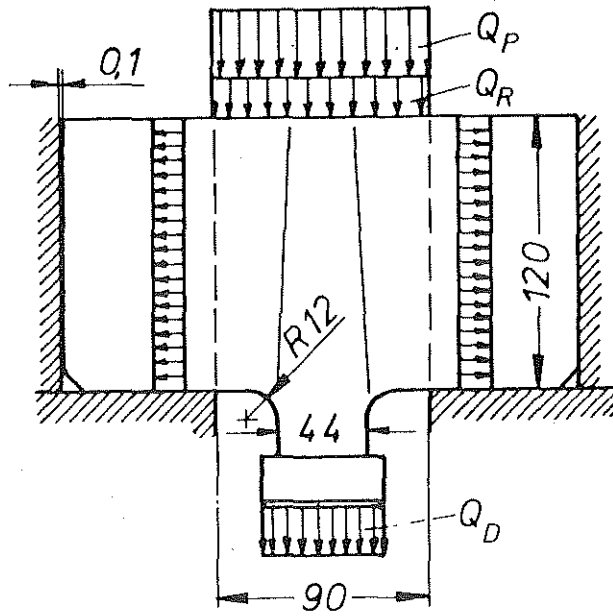
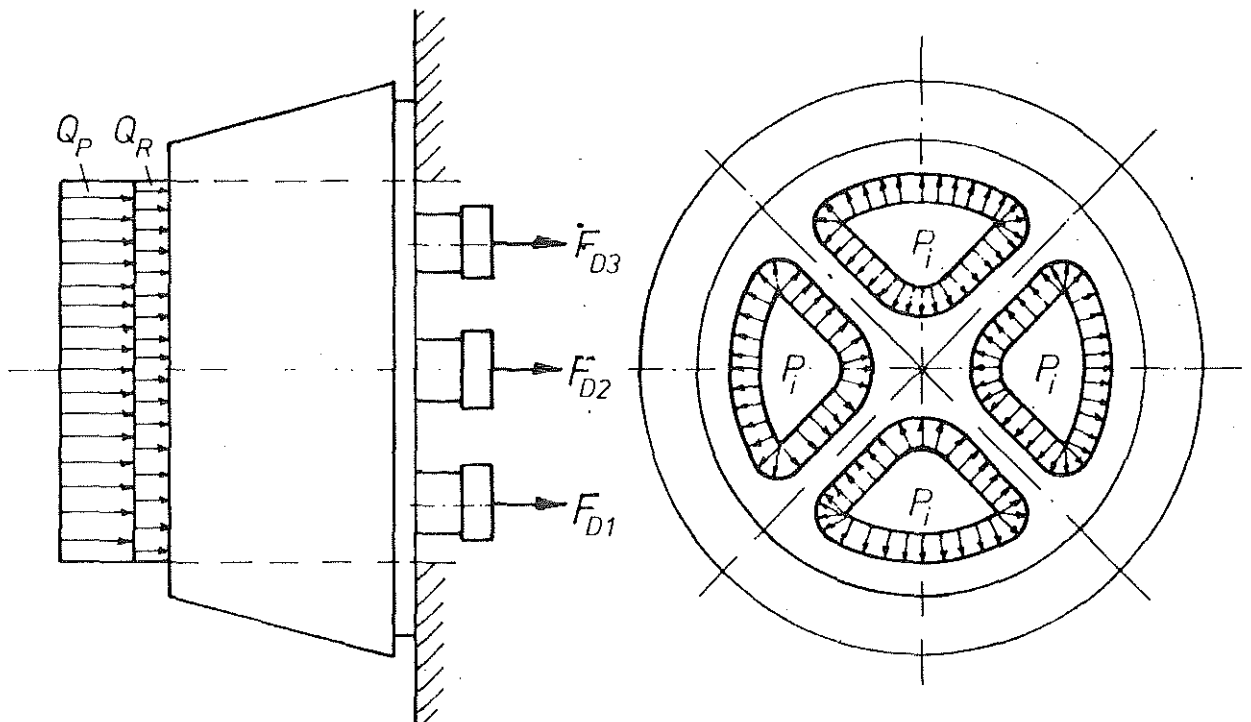


Abb. 1: Aufteilung der Belastung auf drei Kräfteangriffspunkte: Stegstirnlast ($Q_P + Q_R$); Quer-Zuglast (hier durch radialen Spalt, bei Kammerwerkzeugen durch radiale Aufweitung) und Dorn-Kopflast Q_D (aus $Q_{DR} + Q_{DUmf.}$)

OBEN: Brückendorn

UNTEN: Kammerwerkzeug



Literaturhinweise:

- |1| KUSKE, A.: Erhöhung der Lebensdauer durch
Verbesserung der Bauteilgestalt.
Stahl und Eisen 91 (1971) S. 446/451

- |2| GRIESE, F.W. u. Festigkeit und Lebensdauer.
KUSKE, A. Techn. Rundschau, 13.2.1970

- |3| KUSKE, A., FUNKE, P., Spannungsermittlung an einem Walzen-
RÖTH, V. u. KOCH, E.R.: ständer. Stahl und Eisen 92 (1972)
S. 913/922

- |4| WANDERS, D.: Berechnung und Optimierung von
Hochtemperatur-Werkzeugen am Beispiel
von Strangpressmatrizen
Diss. (1972) TU Clausthal

Spannungsoptische Untersuchung über die Anbringung von achsparallelen Heizbohrungen in Blockaufnehmern

Dipl.-Ing. Jürgen Zech

1. Blockaufnehmer

Die Größe der Strangpreßprofile hat Blockaufnehmer mit einem Außendurchmesser von 3 m und einem Innendurchmesser von 0,8 m erforderlich gemacht. Daraus ergeben sich für die Rezipienten in Verbindung mit erheblichen Preßdrücken Beanspruchungen bis an die Grenzen der Werkstofffestigkeit.

Es wurden am Institut zwei (für die UdSSR bestimmte) Rezip. untersucht, die mit einer elektrischen Widerstandsheizung in axialen Bohrungen versehen sein sollten. Blockaufnehmer dieser Größenordnung werden aus mehreren konzentrischen Rohren zusammengeschrumpft (in diesem Fall ein Rezip. aus drei, der andere aus vier Rohren), um die Betriebszugspannungen am Innenrand des Rezip. durch Schrumpfdruk-Vorspannungen zu reduzieren.

2. Der Einfluß von Heizbohrungen

Für solche Rezipienten mit Heizbohrungen ist die Spannungsverteilung nicht mehr einfach berechenbar, denn es ergibt sich

- a) ein Steifigkeitsverlust aufgrund der Bohrungen
- b) eine Spannungskonzentration an den Bohrungen.

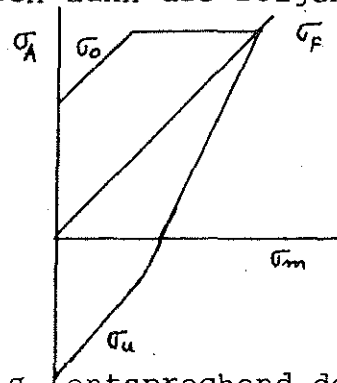
Somit bietet sich für die Untersuchungen die Spannungsoptik besonders an.

3. Die Spannungen im Rezipienten

Die Spannungen werden durch die Überlagerung von ruhenden Schrumpfspannungen σ_{Schr} und wechselnden Betriebsspannungen σ_{Bet} erzeugt.

Im Smith-Diagramm entsprechen sich dann die folgenden Werte:

$$\begin{aligned}\sigma_u &= \sigma_{Schr} \\ \sigma_o &= \sigma_{Schr} + \sigma_{Bet} \\ \sigma_m &= \sigma_{Schr} + \frac{\sigma_{Bet}}{2} \\ \sigma_a &= \frac{\sigma_{Bet}}{2}\end{aligned}$$



Die zulässige Ausschlagspannung σ_A entsprechend dem Smith-Diagramm für den gewählten Werkstoff ist abhängig von der

mittleren Spannung σ_m und muß größer sein als σ_a . Bei der Auslegung des Rezipienten muß also $\sigma_{zul} = \sigma_A \geq \frac{\sigma_{Bet}}{2}$ erfüllt sein.

Andererseits muß auch die maximale Spannung σ_{max} im Rezipienten stets kleiner sein als die Fließspannung: $\sigma_{max} \leq \sigma_F$.

Die Längsspannung kann vernachlässigt werden. Da $\frac{\partial \sigma}{\partial x} \approx 0$ ist, wurde nur eine Scheibe aus dem Rezipienten untersucht.

4. Die Anbringung von Heizbohrungen

4.1 Die Beeinflussungsgrößen

Ziel der Untersuchungen ist die Bestimmung des kritischen Teilkreisradius für die Heizbohrungen. Dieser sollte einerseits wegen der nach innen zunehmenden Radial- und Tangentialspannungen möglichst groß sein, da sich sonst an den Bohrungen unzulässig hohe Spannungskonzentrationen ergeben würden, andererseits sollte der Teilkreisradius für einen wirtschaftlichen Wärmeübergang möglichst klein sein.

4.2 Steifigkeitsverlust

Zunächst wurden die Rezip. ohne Bohrungen untersucht. Die Versuchsergebnisse für die Spannungsverteilung stimmen gut mit den Rechenergebnissen aus den bekannten Formeln überein. Nach Anbringung der Heizbohrungen (Abb. 1) zeigte sich, daß keine merkliche Schwächung der Schrumpfung auftrat. Die Steifigkeit, und somit die Spannungsverteilung im Rezip. änderte sich nur in der Umgebung der Bohrungen.

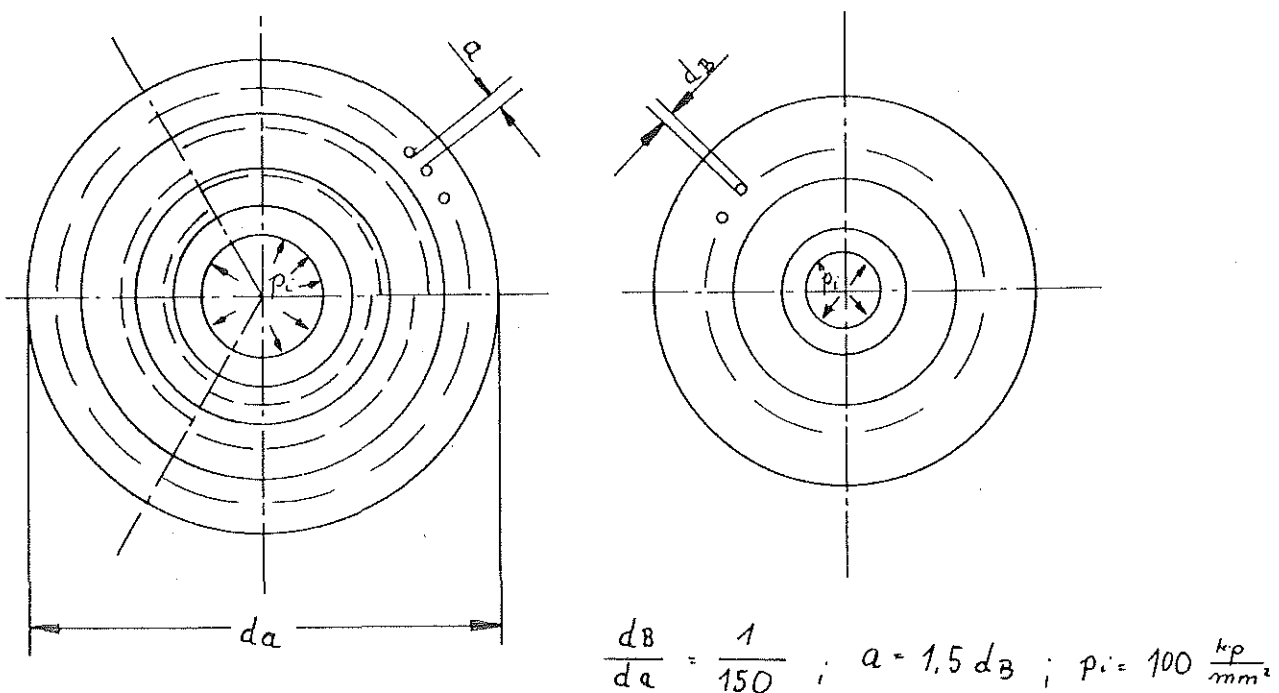


Abb. 1

4.3 Spannungskonzentration an den Lochrändern

Als Nennspannung σ_n an den Löchern wurde die Hauptnormalspannungsdifferenz $n(\sigma_1 - \sigma_2) \equiv (\sigma_1 - \sigma_2)$ zugrundegelegt, die vor dem Anbringen der Löcher im Modell herrschte.

An den Bohrungen, die auf verschiedenen Teilkreisradien angebracht waren, wurde die maximal auftretende Spannung $(\sigma_{\max})_{\text{Bohr}}$ ermittelt. Es ergibt sich dann der Faktor für die Spannungskonzentration zu $\alpha_K = (\sigma_{\max})_{\text{Bohr}} / \sigma_n$.

In den vorliegenden Versuchen lagen die Werte für α_K bei dem dreiteiligen Rezipienten zwischen 1,6 und 1,7.

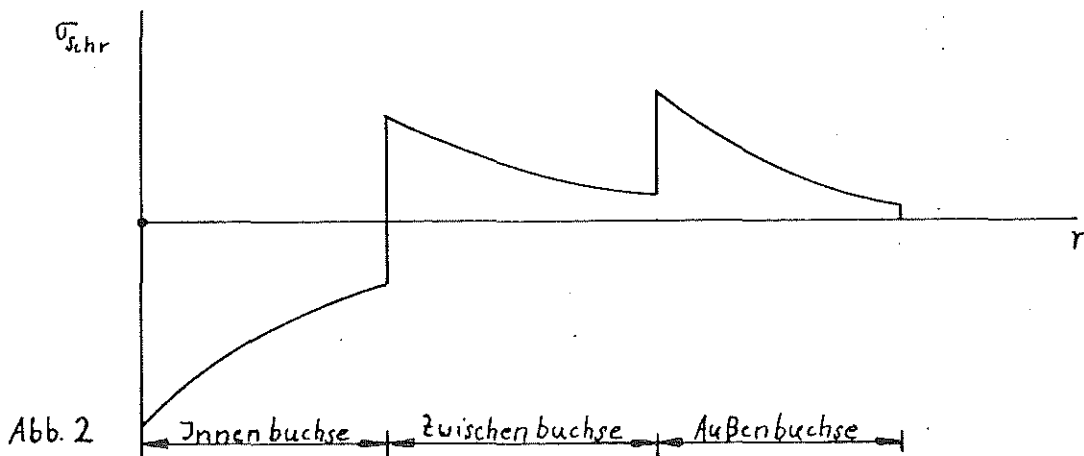
5. Ermittlung des günstigsten Teilkreisradius

5.1 Zulässiger Bereich für die Bohrungen

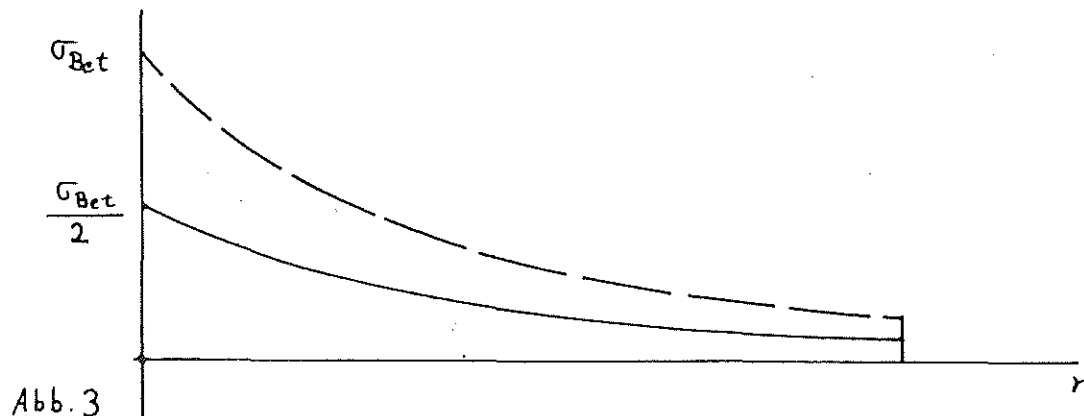
Die Bohrungen dürfen nur in dem Bereich des Rezipienten angebracht werden, in dem unter Berücksichtigung der Spannungskonzentrationen an den Bohrungen gilt:

$$\sigma_{\text{zul}} = \sigma_A \geq \sigma_a = \frac{\sigma_{\text{Bet}}}{2}.$$

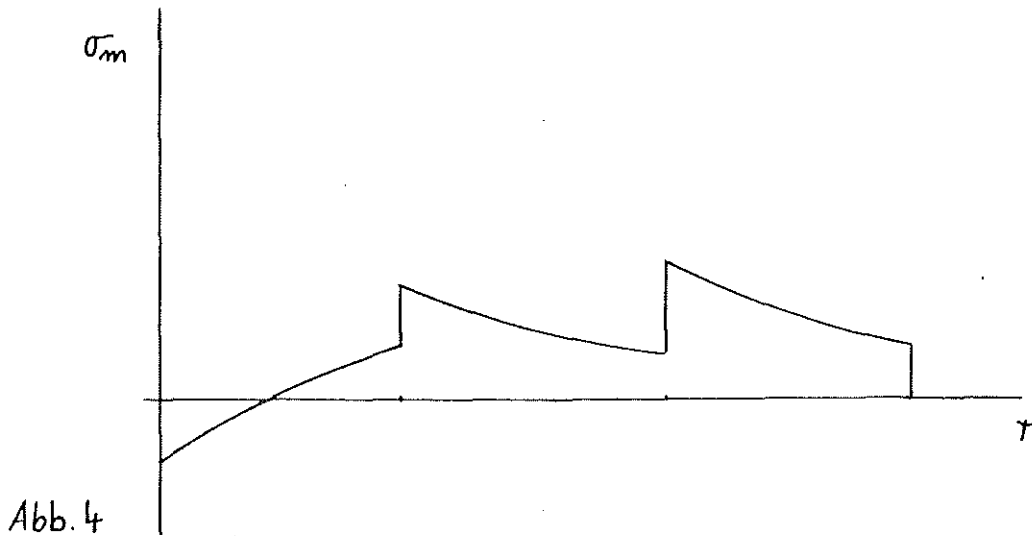
Die Schrumpfspannungen $(\sigma_1 - \sigma_2)_{\text{Schr}} = \sigma_{\text{Schr}}$ haben über dem Radius r aufgetragen prinzipiell folgenden Verlauf:



Der Verlauf der Betriebsspannungen $(\sigma_1 - \sigma_2)_{\text{Bet}} = \sigma_{\text{Bet}}$ ist:

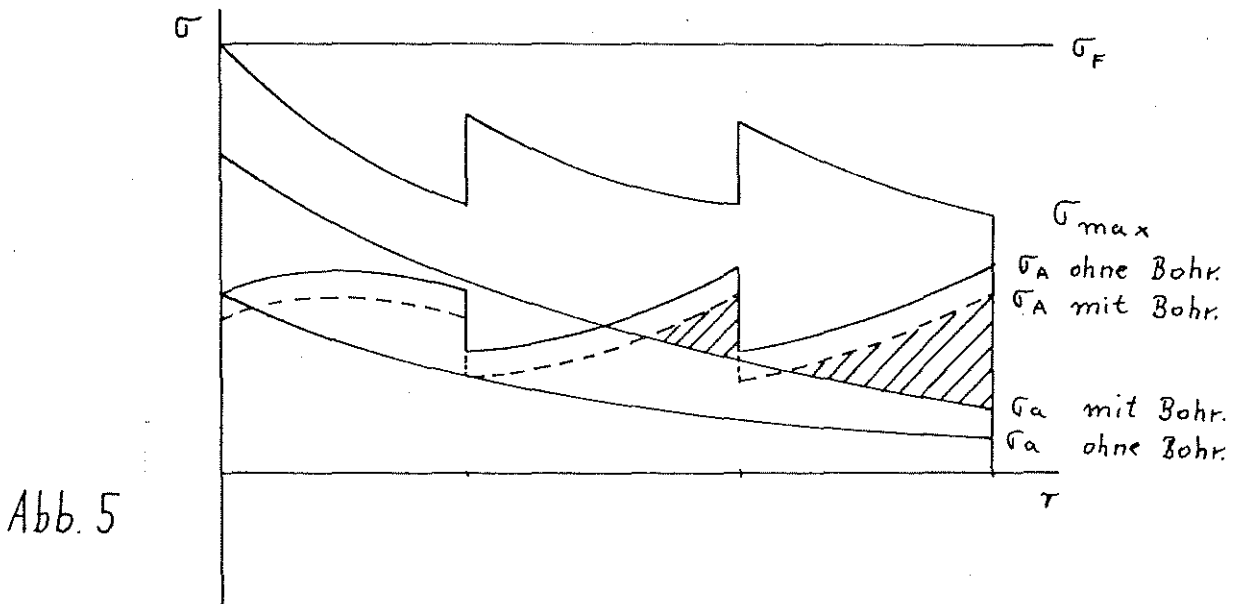


Aus der Superposition von σ_{Schr} und $\frac{\sigma_{\text{Bet}}}{2}$ ergibt sich dann folgender Verlauf für die mittlere Spannung σ_m :



Mit Hilfe dieses Diagramms kann der Verlauf der zulässigen Ausschlagsspannung σ_A lt. Smith-Diagramm aufgetragen werden (Abb. 5). Die Anbringung von Bohrungen erzeugt Spannungsspitzen und somit größere Werte für σ_m , so daß sich für σ_A ein lt. Smith-Diagramm verminderter σ_m Wert ergibt (Abb. 5).

Die vorhandene Ausschlagsspannung $\sigma_a = \frac{\sigma_{\text{Bet}}}{2}$ wird durch die Bohrungen entsprechend dem Faktor der Spannungskonzentration α_K vergrößert. Für die Bereiche $\sigma_A \geq \sigma_a$ ist dann die Anbringung von Heizbohrungen zulässig (Abb. 5).



/// möglicher Bereich für Bohrungen

Im oberen Teil des Diagramms ist als zweite zu erfüllende Bedingung $\sigma_{\max} = \sigma_{\text{O.B.}} \cdot \alpha_K < \sigma_F$ eingetragen.

Es kann wegen der relativ großen Bohrungen angenommen werden, daß $\alpha_K \approx \beta_K$ ist, die Stützwirkung also unberücksichtigt bleibt.

5.2 Kleinster Teilkreisradius

Der kleinstmögliche Teilkreisradius für die Bohrungen liegt bei dem am weitesten innen liegenden Schnittpunkt der Kurve $(\sigma_A)_{\text{m.B.}}$ mit der Kurve $(\sigma_a)_{\text{m.B.}}$. Für den untersuchten dreiteiligen

Rezipienten ergab sich $r_{\min} = 0,5 \cdot r_{\text{außen}}$.

Aus Sicherheitsgründen, aber auch, um mehr Bohrungen auf dem Teilkreis unterbringen zu können, wird man in der Ausführung einen etwas größeren Teilkreisradius als r_{\min} wählen.

Spannungsoptische Untersuchung der Spannungs- und Biegewellen infolge Quer- und exzentrischen Längsstoßes in Balken und Fachwerken sowie der daraus resultierenden Kerbspannungen

Dr.-Ing. Clemens Kühling

Stoßartige Beanspruchungen treten in vielen Bauteilen und Konstruktionen auf und führen vor allem bei etwas komplizierteren Formen zu sehr schwierigen und verwickelten Abläufen. Deshalb ist eine Behandlung derartiger Fälle praktisch auch nur mit experimentellen Verfahren möglich. Hier hat vor allem die dynamische Spannungsoptik zum Verständnis der auftretenden komplizierten Zusammenhänge beigetragen.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Querstoß und exzentrischen Längsstoß auf Balken und mit der Ausbreitung von Stoßwellen in Fachwerken. Fachwerke, die aus mehreren Balken zusammengesetzt sind, treten in der Technik in verschiedenen Formen auf, wie z.B. im Kranbau, Brückenbau usw.

Bei der Übertragung der Ergebnisse aus den Modelluntersuchungen werden Ähnlichkeitsgesetze angewendet [1].

Es wird auf die für dynamische Untersuchungen wichtige Größe der Dämpfung und Halbwertslänge eingegangen. Für die in der dynamischen Spannungsoptik am meisten verwendeten Kunststoffe werden die Halbwertslängen ermittelt und den mit Hilfe des logarithmischen Dekrements errechneten Werten gegenübergestellt.

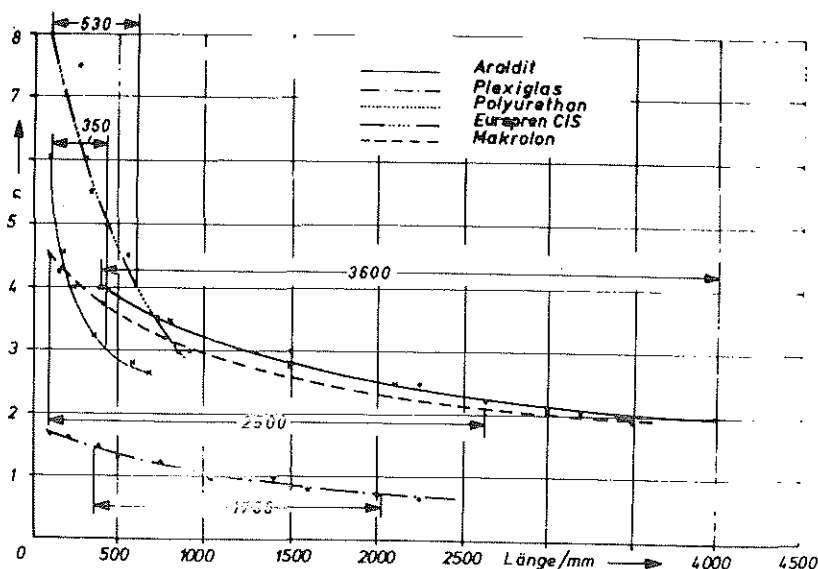


Abb. 1 Abnahme der Amplituden beim Längsstoß von Stäben (für verschiedene Kunststoffe)

Eine Vergleichsmöglichkeit zu den in Abb. 1 dargestellten Halbwertslängen bieten die nach den bekannten Beziehungen für gedämpfte Schwingungen des linearen Schwingers errechneten Werte. Das logarithmische Dekrement ϑ ist als der Logarithmus des Verhältnisses zweier aufeinanderfolgender Amplituden definiert:

$$\vartheta = \ln \left(\frac{Q_n}{Q_{n+1}} \right) = \frac{2 \cdot \pi \cdot D}{\sqrt{1-D^2}} \quad (1)$$

Dabei ist D das Dämpfungsmaß. Wenn $D \ll 1$ ist, so gilt angenähert:

$$\vartheta = 2 \cdot \pi \cdot D$$

Aus der Definition der Halbwertslänge ergibt sich:

$$\left(\frac{Q_n + 1}{Q_n} \right)^n = 1/2 \quad (2)$$

$$n = \frac{-\ln 2}{\ln \left(\frac{Q_n + 1}{Q_n} \right)} = \frac{\ln 2}{\vartheta} = \frac{\ln 2}{2 \cdot \pi \cdot D} \quad (3)$$

n bedeutet die Anzahl der Schwingungen, bis die Amplitude auf den halben Wert abgefallen ist. Die Halbwertslänge L ist also bei gleichbleibender Wellenlänge λ :

$$L = n \cdot \lambda \quad (4)$$

$$L = \frac{\ln 2}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{\lambda}{D} = 0,11 \cdot \frac{\lambda}{D}$$

Werkstoff	Dämpfungsmaß D	Wellenlänge λ [mm]	Halbwertslänge L	
			gerechnet	spannungsoptisch ermittelt
Araldit B	0,0035	120	3800	3600
Plexiglas	0,0065	110	1850	1700
Makrolon	0,005	130	2800	2500

Abb. 2 Gegenüberstellung der gerechneten und spannungsoptisch ermittelten Halbwertslängen

Die Untersuchung wurde nach dem bekannten Verfahren der verzögerten Einzelblitze [3] durchgeführt. Die Auswertung erfolgt anhand der spannungsoptischen Aufnahmen.

Dargestellt werden die höchsten Randspannungen zu bestimmten Zeitpunkten (Abb. 3) über die Länge der Modelle und an verschiedenen Punkten der Modelle (Abb. 4) über einen gewissen Zeitraum jeweils für mehrere Anstoßstellen. Daraus ergibt sich einmal die Wellenausbreitung und zum andern der Verlauf der Biegeschwingungen für die einzelnen Fälle.

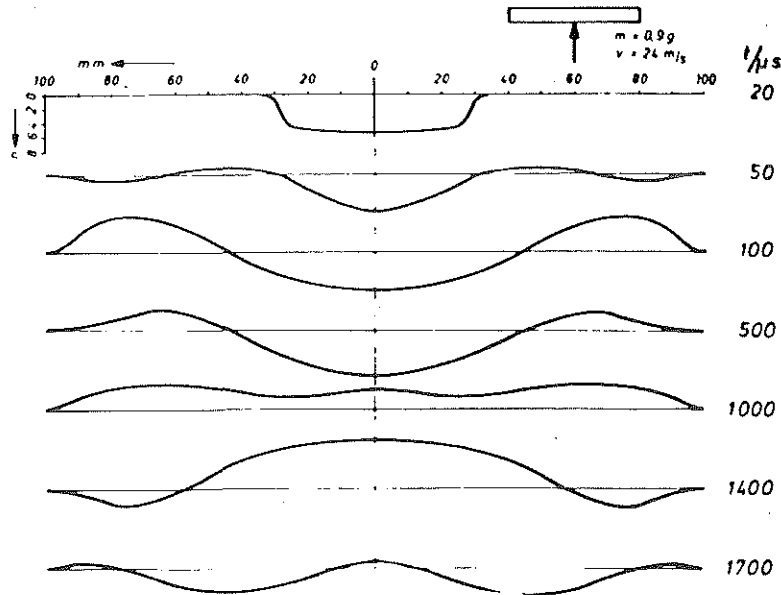


Abb. 3 Wellenausbreitung beim Anstoß in der Mitte mit kleiner Masse und großer Stoßgeschwindigkeit

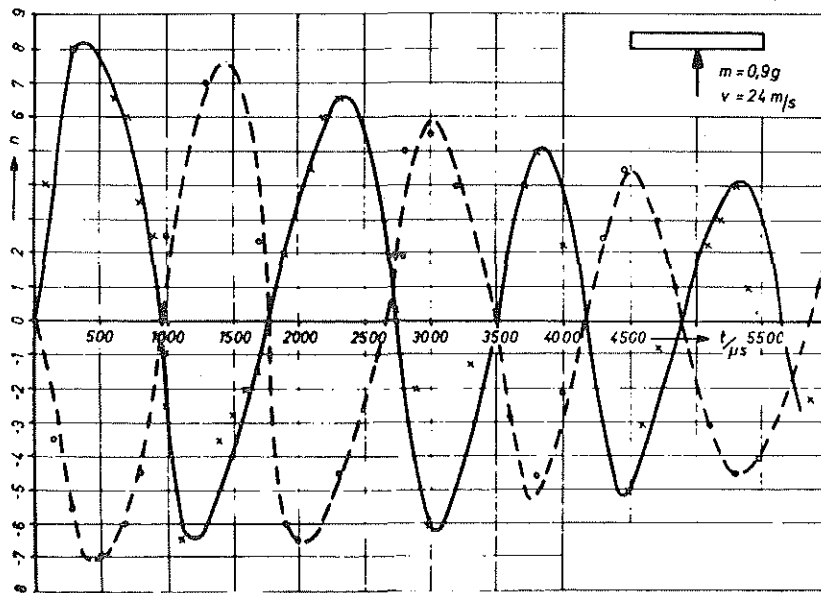


Abb. 4:
Verlauf der
maximalen
Amplitude

Die Wellenausbreitung und die maximalen Randspannungen werden für die verschiedenen Modelle dargestellt. Die spannungsoptischen Aufnahmen bieten gegenüber anderen Methoden den Vorteil, daß man die Spannungsverteilung im gesamten Bauteil erhält und damit auch die höchstbeanspruchte Stelle sofort sieht.

Es wird ein Weg gezeigt, wie die aus der Literatur bekannten Beziehungen für die Schwingungszeit, die maximale Stoßkraft, die maximale Durchbiegung und die maximalen Spannungen beim Stoß durch Berücksichtigung von Korrekturfaktoren für die Berechnung Anwendung finden können. Es zeigt sich, daß hierfür die angewandte Methode ein wertvolles Hilfsmittel darstellt. Die Beziehung für den Stoßfaktor k , die sich aus einer Energiebetrachtung des Systems ergibt, lautet

$$k = \sqrt{1 - \frac{\sigma_{\max}^2 \cdot v \cdot \eta \cdot (m_1 + m_2)}{E \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot v_1^2}} \quad (5)$$

Unter Berücksichtigung des Stoßfaktors und der maßgebenden Masse des angestoßenen Körpers stimmen die rechnerisch und experimentell ermittelten Werte gut überein.

Weiterhin wird ein Vergleich der Spannungskonzentrationen im statischen und dynamischen Fall durchgeführt. Es werden die Ergebnisse verschiedener Veröffentlichungen, deren Verfasser praktisch die gleiche Größe in beiden Fällen ermittelt haben, bestätigt.

Die in den spannungsoptischen Versuchen ermittelten Spannungen wurden zur Lebensdauerabschätzung herangezogen. Obwohl die ermittelte Höchstspannung innerhalb der Dauerfestigkeit des Materials liegt, ergibt sich wegen der hohen Lastspielzahl nur eine begrenzte Lebensdauer. Dies zeigt, daß Überlegungen zur Lebensdauer bei allen Bauteilen, die Wechselbeanspruchungen unterliegen, wichtig sind.

Die vorliegende Untersuchung zeigt, daß für derartige Untersuchungen gerade experimentelle Neuverfahren wie die dynamische Spannungsoptik bei verhältnismäßig geringen Aufwand wichtige Ergebnisse auch für die Praxis liefern können.

Literatur:

- |1| KUSKE, A.: Vortrag aus Anlaß der Tagung: "Akustik und Schwingungstechnik"
Thema: Spannungsanalyse von Stoßvorgängen aufgrund spannungsoptischer Untersuchungen
- |2| KÜHDING, C.: Spannungsoptische Untersuchung der Spannungs- und Biegewellen infolge Quer- und exzentrischen Längsstoßes in Balken und Fachwerken sowie der daraus resultierenden Kerbspannungen
Diss. (1972), TU Clausthal
- |3| KUSKE, A.: Photoelastic Research on Dynamic Stresses.
Experimental Mechanics 2, 1966

Spannungsoptische Untersuchung eines Walzenständers

Dipl.-Ing. Theo Matthes und Dr.-Ing. Dieter Müller

1. Problemstellung

Bei Walzenständern wird die Walzkraft über Verschleißplatten in den Ständer eingeleitet. Diese Platten werden durch die Vertikalbewegung der Walzen stark beansprucht und schnell abgenutzt. Bei dem hier untersuchten Ständer wurden die Verschleißplatten bisher durch Abbrennen entfernt. Nach einer mechanischen Bearbeitung des Ständers wurden dann neue Platten angeschweißt. Wegen des hohen Arbeitsaufwandes und der jeweiligen Schwächung des Querschnittes sollte die Schweißung durch eine Verschraubung ersetzt werden.

Durch spannungsoptische Versuche sollte festgestellt werden, welche Stellen für die erforderlichen Gewindebohrungen im Ständer festigkeitsmäßig am günstigsten sind.

2. Versuchsdurchführung

2.1 Ermittlung der maximalen Walzkraft

Die Größe der Walzkraft war nicht bekannt. Sie wurde mit Hilfe spannungsoptischer Eichversuche ermittelt. Hierfür wurden an der mit "X" gekennzeichneten Stelle (s. Bild 1) am Original Betriebsmessungen mit Dehnmeßstreifen durchgeführt. Aus diesen Messungen ergab sich, daß sich die Tangentialspannung beim Walzvorgang um 50 % erhöhte. Anhand spannungsoptischer Untersuchungen, die für die Ständerkraft F_S und die Walzkraft F_W (s. Bild 1 und 2) getrennt durchgeführt wurden, ergab sich ein Verhältnis der beiden Kräfte von $F_W/F_S \approx 0,1$.

2.2 Spannungsermittlung

Der günstigste Ort für die Anbringung der Gewindebohrungen konnte nach Bild 1 bestimmt werden, da der Einfluß der Walzkraft gegenüber dem der Ständerkraft gering ist. Da in unmittelbarer Nähe der Ständerbohrung eine Spannungskonzentration auftritt, entsteht in gleicher Höhe auf der Ständerinnenseite ein Beanspruchungsminimum (s. Bild 3).

Da die Bohrungen in den Ständer hineinreichen, sind für die Beurteilung der Beanspruchung nicht nur die Spannungen unmittelbar am Rand, sondern auch im Innern von Interesse. Aus diesem Grunde wurden die Spannungen für die im Bild 3 eingezeichneten Schnitte A-B und C-D bei Berücksichtigung von Walz- und Ständerkraft ermittelt - s. Bild 4 und 5. Auch bei Berücksichtigung der Spannung im Innern des Ständers ist die Beanspruchung im Schnitt A-B nur etwa halb so groß wie im Schnitt C-D.

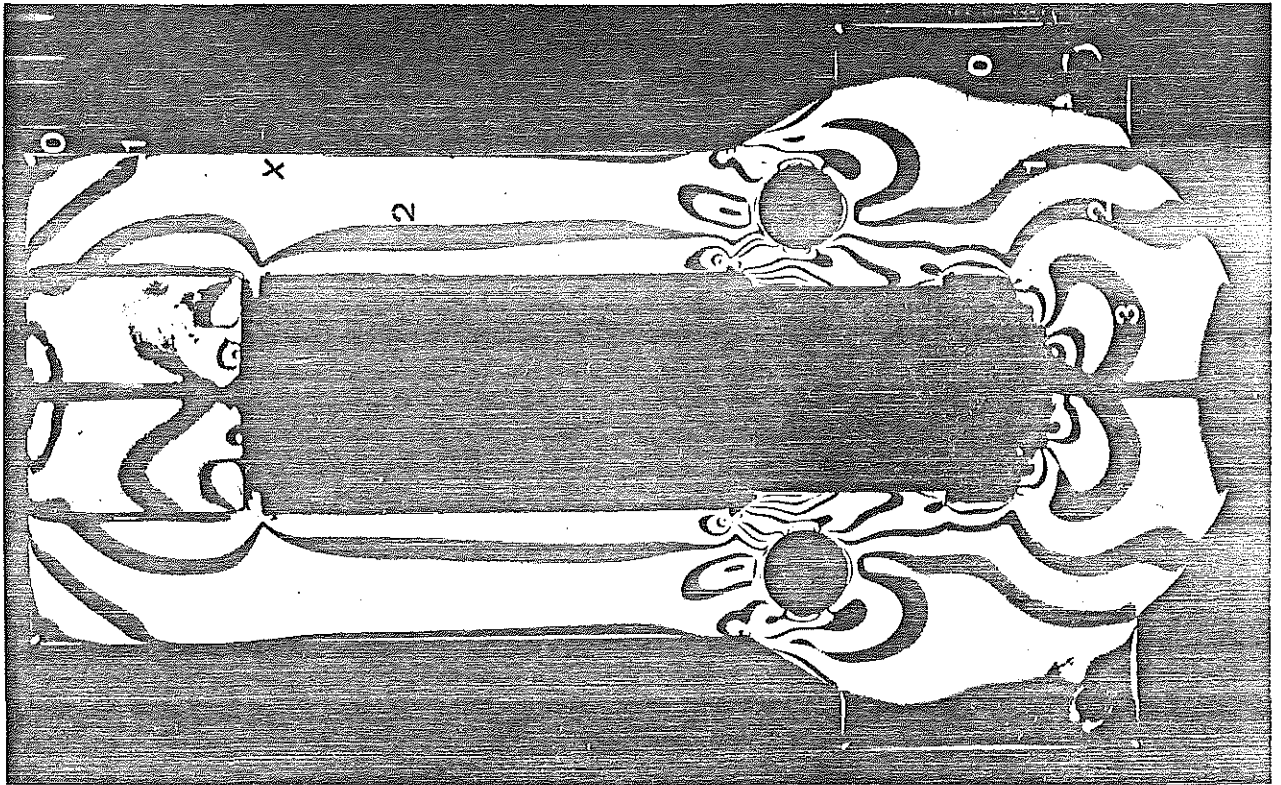


Bild 1 Spannungsoptische Aufnahme des Walzenständers, belastet mit der Ständerkraft, $F_M = 140 \text{ kp}$

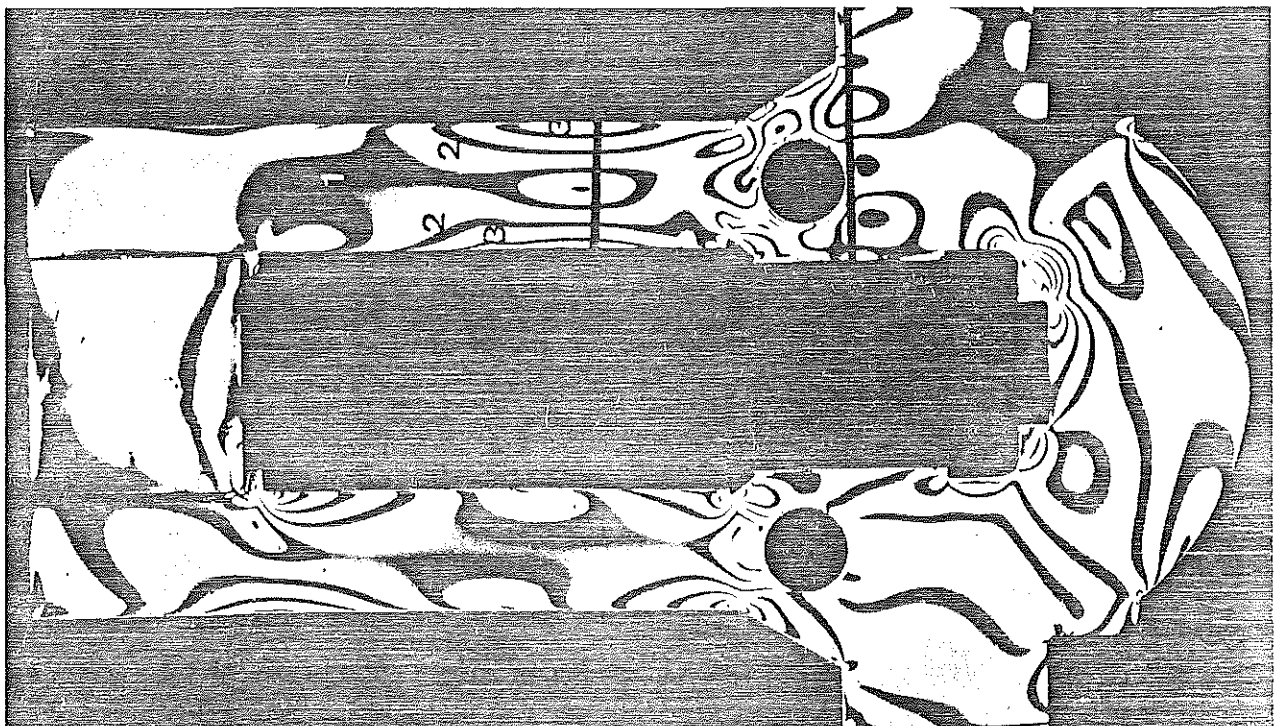
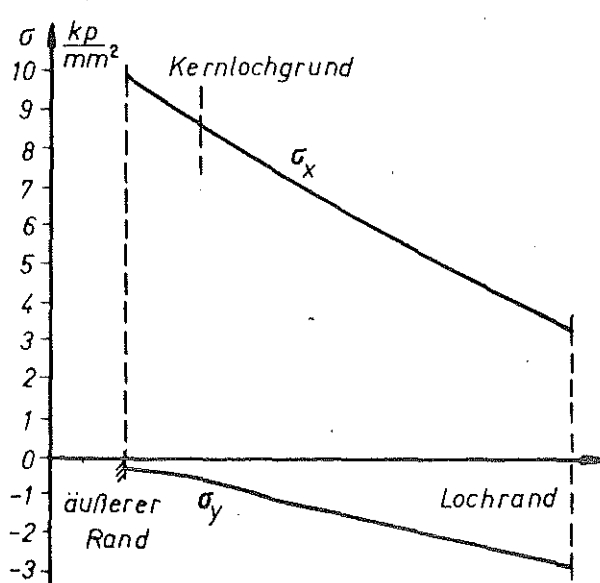
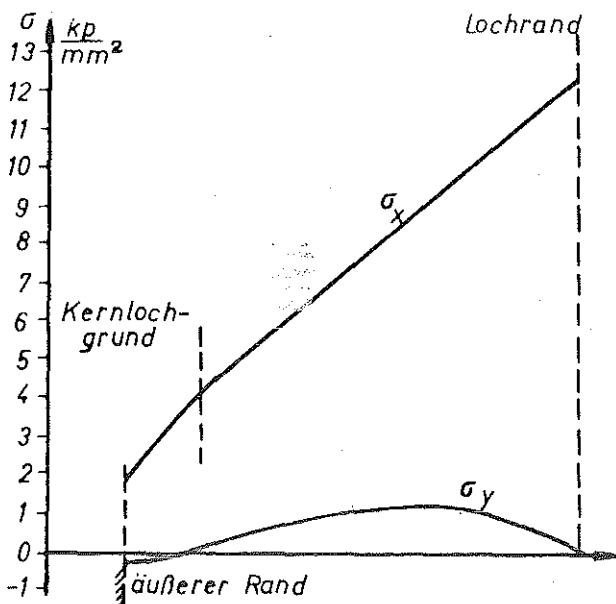
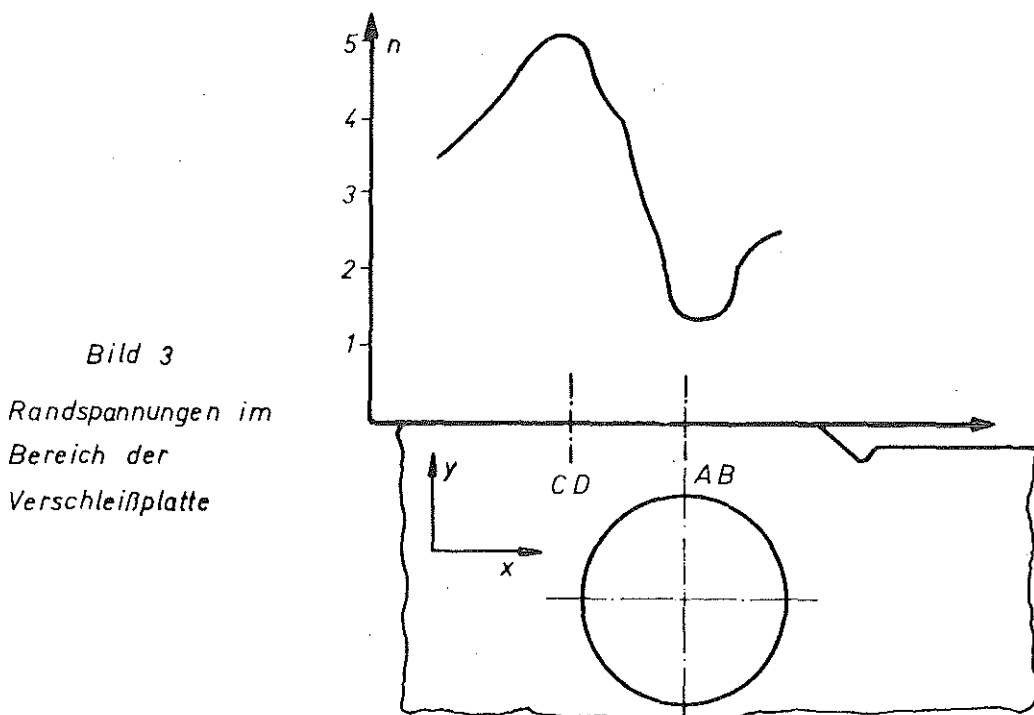


Bild 2 Spannungsoptische Aufnahme des Walzenständers, belastet mit der Walzkraft, $F_M = 2\ 76 \text{ kp}$

2.3 Spannungskonzentration an den Gewindebohrungen

Die durch die Gewindebohrungen auftretenden Spannungsspitzen wurden anhand eines räumlichen Versuches nach dem Erstarrungsverfahren ermittelt. Hieraus ergab sich die Formzahl $\alpha_K = 2,3$. Aus dem hier auftretenden Spannungsgefälle, welches ebenfalls den spannungsoptischen Aufnahmen entnommen werden kann, läßt sich nach Siebel [1] die Kerbwirkungszahl β_K berechnen. Die hiermit ermittelten maximalen Spannungswerte lagen unterhalb der Dauerfestigkeitsgrenze des vom Hersteller verwendeten Werkstoffes.

Literatur: [1] KUSKE, A.: Taschenbuch der Spannungsoptik, Wiss. Verlagsanstalt, Stuttgart 1971



Dynamische spannungsoptische Untersuchung von Maschinenteilen bei rascher Änderung der Kräfte am Beispiel laufender Zahnräder

Dr.-Ing. Karl-Heinz Liesener

1. Dynamische spannungsoptische Untersuchung mit Hilfe der verzögerten Einzelblitztechnik

Die dynamische spannungsoptische Untersuchung stoßbelasteter Modellbauteile wird im Institut mit Hilfe der verzögerten Einzelblitztechnik durchgeführt.

Dabei wird der Stoßvorgang reproduzierbar wiederholt, wobei die als Folge des zeitlich wechselnden Kraftübertragungsvorganges im zu untersuchenden Modell verursachten Spannungsabläufe in Einzelbildaufnahmen festgehalten werden.

Anhand des fotografischen Aufnahmematerials läßt sich eine Spannungsablaufs-Analyse durchführen.

2. Aufgabenstellung

Es ist ein geradverzahntes Modellstirnradzahnradpaar mit gleicher Zähnezahl aus Araldit zu untersuchen, das in stationärem Betriebszustand läuft.

3. Versuchsdurchführung

Während der verschiedenen Versuchsserien wurden Belastungsdrehmoment und Drehzahl konstant gehalten.

Zur reproduzierbaren Ansteuerung der Kurzzeit-Blitzlampe dient eine Fotozelle mit kurzer Ansprechzeit, deren bewegungsproportional zur Getriebedrehzahl gegebene fotoelektrischen Impulse indirekt die Auslösung des Lichtblitzes der Blitzlampe mit einstellbarer Verzögerung bewirken.

4. Versuchsergebnisse

Wie die Untersuchungen zeigten, unterscheiden sich die im Laufversuch auftretenden Zahnrad- und Zahnbeanspruchungen zum Teil erheblich von den unter entsprechend vorgegebener gleicher statischer Belastung, d.h. in der Ruhestellung des Getriebes.

Zur Darstellung der Ergebnisse wurde die Verhältniszahl von maximal auftretender Zahnfußspannung im Laufversuch zu der in Ruhestellung bei gleichem Vorspanndrehmoment auftretenden Zahnfußspannung als Zahnfußspannungs-Überhöhungsfaktor m definiert.

Es wurde festgestellt, daß die mit vorgegebenem Drehmoment verbundene Zahnverbiegung eine Formänderung des Zahnrades, einschließlich des Zahnes, bewirkt. Diese zwangsläufig bei Belastung gegebenen geometrischen Veränderungen des Bauteils verursachen - insbesondere bei höheren Getriebedrehzahlen - stoß-

artige Zahneingriffsvorgänge trotz Kopfrücknahme.

Hierdurch werden die im Eingriff befindlichen Zähne zu spannungsoptisch sichtbaren und auswertbaren Zahnschwingen angeregt. Dadurch kommt es noch während der Zahneingriffsdauer zur teilweisen oder sogar zur vollständigen Entlastung der tragenden Zahnpaare und zwar umso stärker, je höher die Drehzahl und je niedriger das Drehmoment ist [1].

Die Auswertung der dynamischen spannungsoptischen Versuche zeigt, daß je nach Höhe der Drehzahl und vorgegebenem statischen Belastungsdrehmoment im üblichen Lastbereich mit Zahnfußspannungs-Überhöhungsfaktoren von $m = 3$ bis 7, bei hoher Drehzahl und niedriger Last sogar bis über 20 gerechnet werden muß.

5. Ausblick

Die Untersuchungen sollen fortgeführt werden, um den Einfluß veränderter Zahnradgeometrie, wie z.B. Verzahnungsfehler, und definierter, abgewandelter Montageverhältnisse zu studieren. Ferner soll der Einfluß abgeänderter System-Erregerfrequenz und veränderter Zahn-Eigenfrequenz untersucht werden.

Es ist ferner beabsichtigt, die Untersuchungen an schrägverzahnten Zahnrädern durchzuführen.

[1] Liesener, K.-H. Dynamische spannungsoptische Untersuchung von Maschinenteilen bei rascher Änderung der Kräfte am Beispiel laufender Zahnräder, Dissertation (1972), TU Clausthal

Holografische Bestimmung von Einflußfeldern

Dr.-Ing. Dieter Müller

1. Bestimmung der Einflußfelder durch Anwendung des Maxwell'schen Satzes

Platten unter mehrfacher Belastung lassen sich mit Hilfe von Einflußfeldern sehr einfach auslegen. Einflußfelder geben die Spannungen in einem ausgewählten Punkt, dem Aufpunkt, in Abhängigkeit von den möglichen Laststellungen, an. Für kompliziertere Plattenformen, insbesondere wenn sie versteift sind, können die Einflußfelder nicht analytisch berechnet werden, eine numerische Berechnung ist nur mit großem Aufwand möglich. Experimentelle Bestimmungen der Einflußfelder sind punktweise bereits des öfteren durchgeführt worden. Durch Anwendung des Maxwell'schen Satzes ist eine Möglichkeit gegeben, Einflußfelder über die gesamte Plattenfläche in nur einem Versuch zu bestimmen [1].

Zur Ermittlung der Einflußfelder der Krümmungen, aus denen sich die maximalen Biegespannungen nach der Formel:

$$\sigma_x = + \frac{E h}{2(1-\nu^2)} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

berechnen lassen, muß nach dem Maxwell'schen Satz am Aufpunkt mit einem in Bild 1 skizzierten Doppelmoment belastet werden.

Die Einflußwerte ergeben sich dann aus den Durchbiegungen, die mit einem Umrechnungsfaktor multipliziert werden müssen. Aus den Einflußwerten κ errechnen sich die Größen der Schnittmomente am Aufpunkt.

2. Überlagerung zweier Doppelmomente

Zur gleichzeitigen Bestimmung des Einflußfeldes eines Schnittmomentes bzw. der daraus resultierenden maximalen Spannungen nach Gl. (1) müssen zwei Doppelmomente überlagert werden. In den Bildern 2 und 3 sind zwei praktikable Möglichkeiten hierfür angegeben.

3. Bestimmung des Drillmoment-Einflußfeldes

Das Einflußfeld des Plattendrillmomentes und damit der Schubspannung τ_{xy} kann durch die in Bild 4 skizzierte Kraftgruppe bestimmt werden. Diese Anordnung ergibt sich durch Überlagerung zweier Doppelmomente in zwei Richtungen, die um 45° gegen das xy -Achsenkreuz gedreht wurden.

4. Holografische Ermittlung der Linien gleicher Durchbiegung

Bei den angegebenen Belastungsvorrichtungen ergeben die Durch-

biegungen multipliziert mit einem Umrechnungsfaktor die Einflußwerte. Zur Messung der Durchbiegungen eignet sich am besten die holografische Interferometrie: Sie besitzt eine große Empfindlichkeit, daher brauchen nur geringe Verformungen, wie in der Plattentheorie vorausgesetzt, erzeugt zu werden. Ferner sind optisch ebene Objekte nicht nötig.

Mit der in Bild 5 skizzierten Versuchsanordnung werden allein die Durchbiegungen erfaßt |2|, Störeinflüsse durch die Neigung der Platte sind ausgeschaltet.

5. Einflußfelder einer quadratischen Platte

Das erläuterte Verfahren wurde anhand einer analytisch rechenbaren quadratischen Platte mit zwei freien und zwei frei aufliegenden Rändern erprobt, siehe Bilder 6 und 7.

6. Einflußfelder komplizierterer Plattenformen

Die in der Technik auftretenden Platten haben oft eine komplizierte geometrische Form, ferner sind die Auflagerbedingungen nicht eindeutig definierbar, Versteifungen verändern außerdem die Einflußfelder sehr stark. Als Beispiel hierfür wurde in der Arbeit |2| eine schiefe Platte mit und ohne Rippen untersucht. Trotz der Richtungsabhängigkeit der Steifigkeit ist das Verfahren hier anwendbar.

Bei einem Rohrboden eines Wärmetauschers wurde der Einfluß von Bohrungen auf das Einflußfeld gezeigt. Die versteifende Wirkung der Rohre konnte im Experiment ermittelt werden.

Literatur:

- | 1 | KUSKE, A.: Ein Verfahren zur qualitativen und quantitativen Ermittlung von Einflußfeldern. Bau- und Bauindustrie, 19 (1962).
- | 2 | MÜLLER, D.: Holografische Bestimmung von Einflußfeldern zur Berechnung versteifter Plattenkonstruktionen. Diss. TU Clausthal, 1972

Bild 1
Doppelmoment

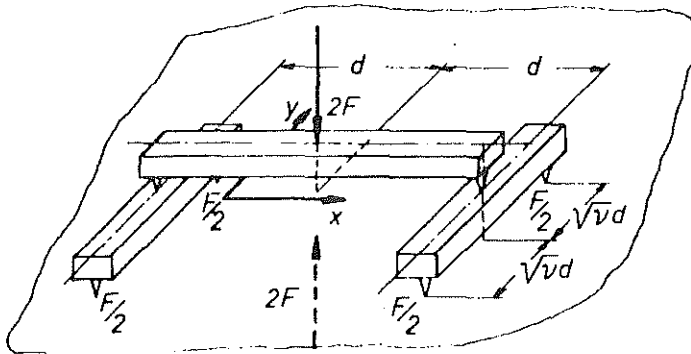
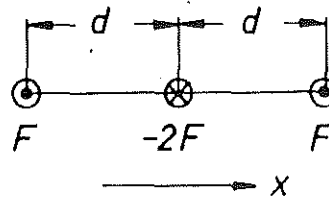


Bild 2
Apparatur zur Überlagerung
zweier Doppelmomente

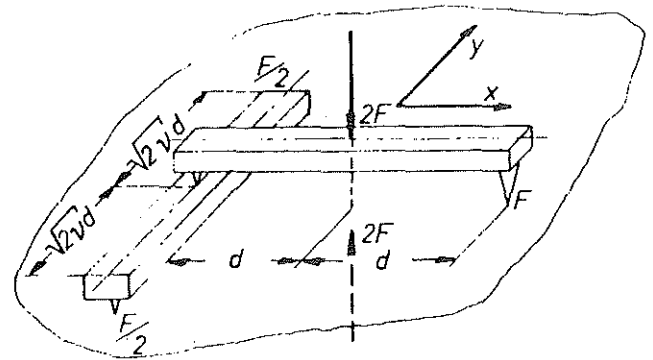


Bild 3
Apparatur zur Überlagerung
zweier Doppelmomente

Bild 4
Kraftgruppe zur
Bestimmung des
Einflußfeldes von m_{xy}

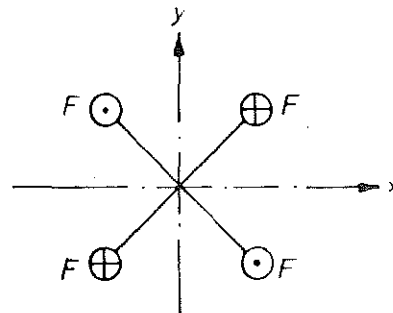
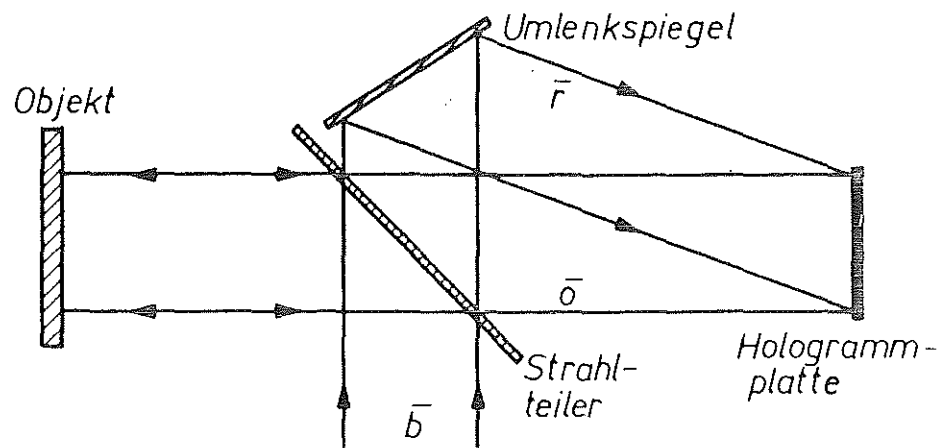


Bild 5
Optische
Anordnung
zur Durch-
biegungs-
messung

b: Beleuchtungsstrahl
o: Strahl vom Objekt
r: Referenzstrahl



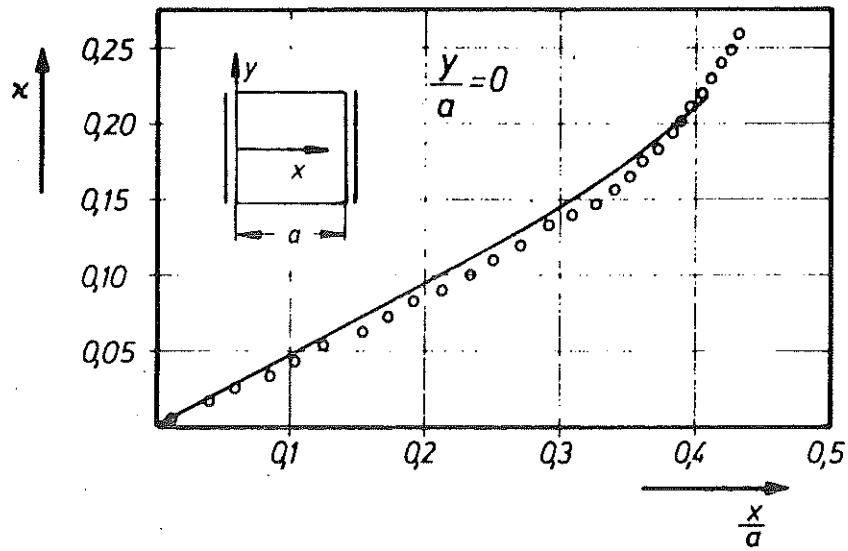


Bild 6
Vergleich der experimentell ermittelten Einflußwerte
mit analytisch errechneten Werten
Punkte o: Meßwerte

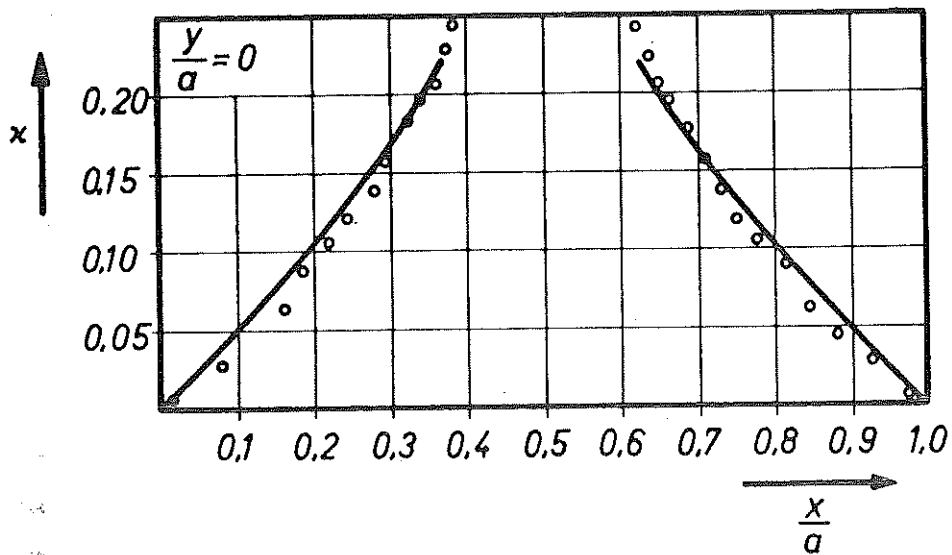


Bild 7
Vergleich der experimentell gefundenen Einflußwerte mit
analytisch errechneten Werten
Punkte o: Meßwerte