

Borisov, V.I.; Astaškin, Ju.S.; Petuchov, V.I.; Abramov, O.V.; Buchanov, A.N.:

**Untersuchung der Effektivität der auf die mechanische Belastung verwendeten Arbeit
von Ultraschallschwingungssystemen mit ringförmigen Umformern**

Deutsche Vollübersetzung aus:

Naučnye trudy. Moskovskij institut stali i splavov. Moskva: 92 (1977) , S. 103 - 107.

Russisch:

Исследование эффективности работы на механическую нагрузку ультразвуковых колебательных систем

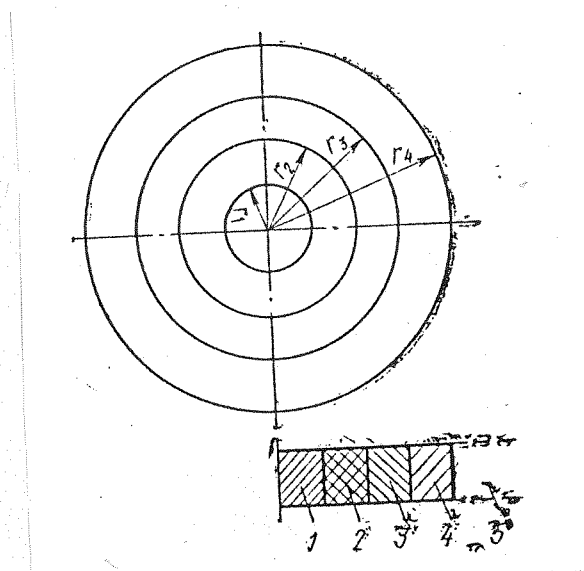
Issledovanie éffektivnosti raboty na mehaničeskiju nagruzku ul'trazvukovykh kolebatel'nykh sistem s kol'cevymi preobrazovateljami

Bei einer Reihe von technologischen Prozessen unter Verwendung von Ultraschall werden ringförmige Schwingungssysteme (URS) angewendet. Insbesondere beim Druckumformen werden URS effektiv eingesetzt (beim Ziehen von Draht, Rohren und Stangen und beim Pressen) [1].

Die bei diesen Prozessen angewendeten URS bestehen im allgemeinen aus einem ringförmigen magnetostriktiven Wandler (siehe Abbildung 1)¹, in dem sich der Abstandsring und der Ziehring (Matrize) befinden. Da hindurch wird der Draht (werden die Stangen) gezogen. Das System wird in ein Kühlmittel eingetaucht.

Abbildung 1

Schema des Ultraschall-Schwingungssystems



- 1 - Metallschmelze; 2 - „Ansetzkruste“; 3 - wassergekühlter Ausgußstein; 4 - ringförmiger Wandler; 5 - Kühlmittel

Eine effektive Ultraschalleinwirkung auf die Kraftparameter und die Eigenschaften des umgeformten Werkstoffs wird bei der Anwendung solcher URS realisiert, bei denen die

¹ Die Abbildung ist der Arbeit [1], S. 75 entnommen.

Eine effektive Ultraschalleinwirkung auf die Kraftparameter und die Eigenschaften des umgeformten Werkstoffs wird bei der Anwendung solcher URS realisiert, bei denen die Amplitudenwerte der Schwinggeschwindigkeit oder die Spannungen im gezogenen Draht (der Stange) bestimmte, für den gegebenen Werkstoff charakteristische Werte erreichen. Gegenwärtig gibt es praktisch keine Abschätzung der Werte für die Schwingungsparameter von mehrschichtigen ringförmigen Systemen für technologische Zwecke.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den Einfluß der Werkstoffeigenschaften und der geometrischen Größen der inneren Schichten (des Abstandsringes, des Ziehringes und des Drahtes) auf den Verteilungscharakter der radialen Komponenten der Schwingungsspannungen und -geschwindigkeiten in diesen Schichten einzuschätzen.

Die experimentelle Untersuchung eines ähnlichen Modells [2] in Form eines magnetostriktiven Wandlers mit Einsätzen aus verschiedenen Werkstoffen zeigte, daß die Anwendung eines rechnerischen Näherungsverfahrens [3] nur bei geringen Werten der Beziehung der Stärke b zum Ringradius R ($b/R < 0,5$) gerechtfertigt ist.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Amplituden der Schwinggeschwindigkeit und der Spannungen sowie der Frequenzgang auf der Basis der Lösung der Wellengleichung [4] errechnet. Dabei wurde vorausgesetzt, daß die Werkstoffe der Schichten isotrop sind und es keine Verluste gibt.

Für den harmonischen Fall, wenn das Potential in der i -ten Schicht folgendes Aussehen hat:

$$\bar{\Psi} = \Psi_i e^{ik_i c_i t} \quad [1],$$

wobei k_i der Wellenvektor, $\omega_i = k_i c_i$ die Kreisfrequenz und c_i die Schallgeschwindigkeit im Werkstoff ist,

schreibt man für die Wellengleichung in zylindrischen Koordinaten:

$$\frac{\partial^2 \Psi_i}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi_i}{\partial r} + k_i^2 \Psi_i = 0 \quad [2]$$

Die Lösung der Gleichung [2] hat die Form:

$$\Psi_i = A_i I_0(k_i r) + B_i Y_0(k_i r),$$

wobei A_i und B_i Konstanten sind, die aus den Grenzbedingungen bestimmt werden und $I_0(k_i r)$ und $Y_0(k_i r)$ den Funktionen nullter Ordnung von Bessel und Neumann entsprechen.

Die Spannungsamplituden (Druckamplituden) σ_i und die Amplituden der Schallgeschwindigkeit ξ_1 drückt man dementsprechend mit

$$\sigma_i = \frac{\partial \Psi_i}{\partial r} = -R_i [A_i I_1(k_i r) + B_i Y_1(k_i r)],$$

[3]

$$\xi_i = -\rho_i \frac{\partial \Psi_i}{\partial t} = -j \omega \rho_i [A_i I_0(k_i r) + B_i Y_0(k_i r)]$$

aus, wobei ρ_i die Materialdichte in der i -ten Schicht ist.

Die Grenzbedingungen für die betrachtete Aufgabe setzen die Gleichheit der Amplitude der Schwinggeschwindigkeit und der Spannung beim Übergang (an der Grenze) von der Schicht (ρ_{-1}) zur i -ten Schicht voraus. Dabei wurde vorausgesetzt, daß an der Außenoberfläche des Wandlers die Amplitude der Schwinggeschwindigkeit $\xi_i = \omega A_0$ ist, wobei A_0 konstant ist.

Interessanter für die Praxis ist die Abschätzung der Werte für die Schwinggeschwindigkeit und die Spannungen an der Drahtoberfläche bei Veränderung der Werkstoffeigenschaften und der Größe des Abstandsrings, des Ziehrings und des Drahtes. Die Eigenschaften und Größen der vierfachen Schicht (des Wandlers) werden durch technologische Erfordernisse bestimmt. Zuerst wurde die Berechnung mit Parametern durchgeführt, die der technologischen Variante des Stahldrahtziehens entsprachen (siehe Tabelle, erste Zeile).

Tabelle: Abhängigkeit der Amplituden der Schwingungsgrößen im Draht von den Eigenschaften und der Stärke der Schichten

Abstandsring	Ziehring		Draht		
\bar{C}_3 , m/s	\bar{C}_2 , m/s	r_2 , m	r_1 , m	ξ_1 , m/s	σ_1 , kg/cm ²
5000	6550	0.008	0.003	0.0067	827.15
2500	6550	0.008	0.003	0.0035	430.54
2500	2500	0.008	0.003	0.0035	436.97
500	6550	0.008	0.003	0.00087	106.87
10000	6550	0.008	0.003	0.0091	1123.16
10000	10000	0.008	0.003	0.0091	1124.20
5000	6550	0.008	0.001	0.0022	826.50
5000	6550	0.024	0.003	0.0086	1060.17

Anmerkung: Die Berechnungen wurden durchgeführt bei $\xi_4(r_4) = 0,113$ m/s,
 $p_1 = 7800$ kgs/m³, $p_2 = 15630$ kgs/m³, $p_3 = 4540$ kgs/m³.

Die Werte für die Schallgeschwindigkeit, die Materialdichte und die Maße des magnetostruktiven Wandlers wurden als gleich $C_4 = 5300$ m/s; $p_4 = 8200$ kgs/m³ und $r_3 = 0,028$ m und $r_4 = 0,0525$ m angenommen.

Die Zahlenwerte der Koeffizienten A_i und B_i in der Gleichung [3] und die aus ihnen bestimmte Werte σ_i und ξ_i wurden auf einem elektronischen Digitalrechner errechnet. Die Rechnung wurde für eine Frequenz $f = 18$ kHz, die Resonanzfrequenz des ausgewählten Wandlers, durchgeführt.

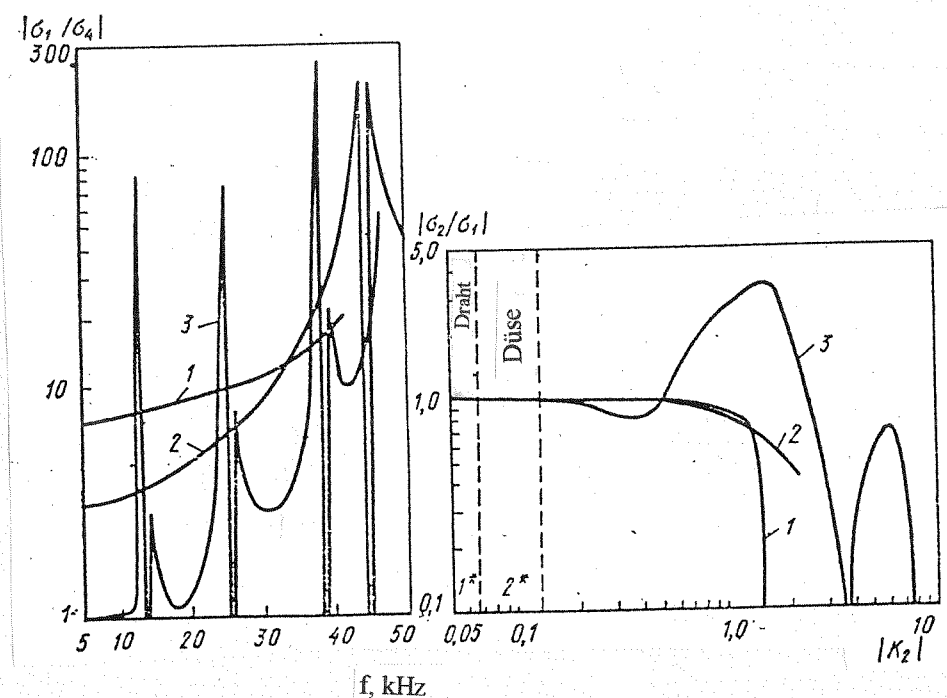
Bei Verringerung der Schallgeschwindigkeit im Ziehring und im Abstandsring verringern sich im Vergleich zum Ausgangswert ($C_2 = 6550$, $C_3 = 5000$ m/s) die Amplitude der Schwinggeschwindigkeit ξ_1 (r_1) und die Amplitude der Schwingspannung σ_1 (r_1) im Draht. Bei Erhöhung der Schallgeschwindigkeit erhöhen sich diese Werte. Die Änderung der Schallgeschwindigkeit im Abstandsring C_3 beeinflusst die Schwingungsparameter am stärksten. Die Variation der Materialdichte des Abstandsringes und des Ziehrings wirkt sich weniger deutlich auf die Veränderung der Schwingungsgrößen im Draht aus. Die Werte für die Schwingungsgrößen von Kupfer ($\bar{C}_1 = 3700$ m/s, $p_1 = 8900$ kgs/m³) und Aluminiumdraht ($\bar{C}_1 = 5100$ m/s, $p_1 = 2700$ kgs/m³) unterscheiden sich nur unwesentlich von den analogen Werten für Stahldraht.

Bei einer Verkleinerung des Drahradius von 3 auf 1 mm verringert sich die Amplitude der Schwinggeschwindigkeit auf ein Drittel bei gleichbleibendem Spannungswert. Vergrößert man den Ziehring (r_2-r_1) von 5 auf 24 mm, ändern sich die Amplitudenwerte der Geschwindigkeit und der Spannung (infolge der Vergrößerung) nur unwesentlich.

Die Analyse der Ergebnisse (siehe Tabelle) zeigt, daß es in der Praxis gängiger und zweckmäßiger ist, für den Abstandsring Werkstoffe mit "passenden" Schallgeschwindigkeitswerten auszuwählen (um die notwendigen Amplitudenwerte der Schwingungsgrößen an der Oberfläche des umgeformten Metalls zu gewährleisten). Deshalb wurden im folgenden die Berechnungen mit variierenden Geschwindigkeitswerten \bar{C}_3 durchgeführt. Für die Konstruktion des Frequenzgangs wurden die relativen Werte σ_1/σ_4 oder ξ_1/ξ_4 verwendet, für die Amplitudenverteilung σ_1/σ_1 oder ξ_1/ξ_1 . Hier beziehen sich die Indizes 1 und 4 auf die entsprechenden Punkte an der Oberfläche des Drahtes bzw. des Wandlers. Abbildung 2 zeigt die Berechnungsergebnisse für die Amplituden der Schwingspannung.

Abbildung 2: Frequenzgänge des Ultraschallschwingungssystems (a) und Verteilung der Amplituden der Schwingspannungen in den Schichten (b) bei unterschiedlichen Schallgeschwindigkeitswerten im Abstandsring C_3 , m/s:

1-5000; 2-2500; 3-500



Die Analyse der Abhängigkeiten (siehe Abbildung) zeigt, daß die Verteilung der Schwingungsgrößen nach der Koordinate r bei hohen C_3 - Werten, die den technologischen Varianten entsprechen (Abstandsring aus Stahl und anderen Legierungen), in dem für die Praxis interessanten Frequenzintervall nur wenig von der Frequenz abhängig ist. Das heißt, es liegt kein Resonanzsystem vor. Bei Verringerung des Parameters C_3 auf 2500 m/s erscheinen schwache Resonanzeigenschaften, die durch das Erscheinen eines Extremums im Frequenzgang (siehe Kurve 2) widergespiegelt werden. Eine interessante Besonderheit des Einflusses der weiteren Verringerung der C_3 -Werte auf die Resonanzeigenschaften des Systems ist sowohl die Verbreiterung des Durchgangsbereichs als auch das Erscheinen zusätzlicher Extrema. (siehe Kurve 3).

Auf der Grundlage der angeführten Resultate kann man voraussetzen, daß es für die effektivere Arbeit des Schwingungssystems der untersuchten Konstruktion notwendig ist, Schichtungen mit geringeren Schallgeschwindigkeitswerten in den Übergangsschichten zu verwenden. Wenn man jedoch den Abfall der absoluten Werte der Schwingungsgrößen σ_1 und ξ_1 bei der Verringerung der C_3 - Werte berücksichtigt, kann man optimale C_3 - Werte finden, die die Resonanzbedingung des Systems erfüllen und die Erhöhung der absoluten Werte σ_1 und ξ_1 gewährleisten. Diese Werte liegen in einem Intervall von $10^3 - 2.5 \cdot 10^3$ m/s. Die ermittelten Ergebnisse stimmen qualitativ mit den Ergebnissen der Arbeit [5] überein, worin die Resonanzeigenschaften vielschichtiger piezokeramischer Systeme untersucht wurden.

Literatur

1. Борисов В.И., Марков А.В.: К механизму разрушения «корочки» затвердевшего металла в ультразвуковой водоохлаждаемой воронке. См. настоящий сб., с. 75.
BorISOV, V.I.; Makarov, A.V.: K mehanizmu razrušenija "koročki" zatverdevšego metalla v ul'trZvukovoj vodoochlaždaemoj voronke. In: Naučnye trudy. Moskovskij institut stali i splavov. Moskva: 92 (1977), S. 75-78.
/ Über den Mechanismus der Zerstörung der "Kruste" von gehärtetem Metall im wassergekühlten Ultraschallgießtiegel; russ./
2. Асташкин Ю.С., Петухов В.И., Певницкий Л.Д., Буханов А.Н., Абрамов О.В., Шапиро А.С.: О работе ультразвуковых колебательных систем с кольцевыми магнитострикционными преобразователями. В кн.: Прочность-пластичность материалов в ультразвуковом поле. Ч. II. Минск, «Наука и техника», 1973, с. 181-186.

Astaškin, Ju.S.; Petuchov, V.I.; Pevnickij, L.D.; Buchanov, A.N.; Abramov, O.V.; Šapiro, A.S.: O rabote ul'trazvukovyh kolebatel'nyh sistem s kol'cevymi magnitostrikcionnymi preobrazovateljami. In: Pročnosť - plastičnost' materialov v ul'trazvukovom pole. Teil II. Minsk: Nauka i tehnika, 1973, S. 181-186.

/Über die Arbeit von Ultraschallschwingungssystemen mit ringförmigen magnetostruktiven Wandlern; russ./

3. Кикучи Е.: Ультразвуковые преобразователи. Москва, «Мир», 1972. 424 с. с ил.

Kikuči E.: Ul'trazvukovye preobrazovateli. Moskva: Mir, 1972.

/Ultraschall-Wandler; russ./

4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика сплошных сред. М., Гостехтеоретиздат, 1953. 300 с. с ил.

Landau, L.D.; Lifšic, E.M.: Mechanika splošnyh sred. Moskva: Gostechteoretizdat. 1953.

/Die Mechanik deformierbarer Medien; russ./

5. Дианов Д.Б., Кузьменко А.Г.: Исследование возможностей расширения полосы пропускания цилиндрических пьезокерамических преобразователей. «Акустический журнал», т. XVI, вып. 2, с. 236-242.


Dianov, D.B., Kuz'menko, A.G.: Issledovanie vozmožnostej rasširenija polosy propuskanija cilindričeskich p'ezokeramičeskich preobrazovatelej. Akustičeskij zurnal. Band XVI, Ausg. 2, 1970, S. 236-242.

Engl.: Dianov, D.B.; Kuz'menko, A.G.: Analysis of a Cylindrical Piezoceramic Transducer in Radially Symmetric Modes. In: Soviet Physics-Acoustics. Vol. 16, NO. 1, 1970, S. 34-38.

Stuttgart, den 03. 01. 1995

Übersetzt von:


(Sören Ludwig)


Ottmar Pertschi
(Diplom-Übersetzer)