

Pirjazev, D.I.; Birman, E.I.¹:

Ziehen von Drähten und Stäben aus Nichteisenmetallen und -legierungen unter Verwendung von Ultraschallschwingungen

Deutsche Vollübersetzung aus:

Gosudarstvennyj naučno-issledovatel'skij i proektnyj institut splavov i obrabotki cvetnych metallov. Trudy instituta. Moskva, 1975, Bd 46, S. 55-71.

Russisch:

Волочение проволоки и прутков из цветных металлов и сплавов с применением ультразвуковых колебаний

Voločenie provoloki i prutkov iz cvetnych metallov i splavov s primeneniem ul'trazvukovyh kolebanij

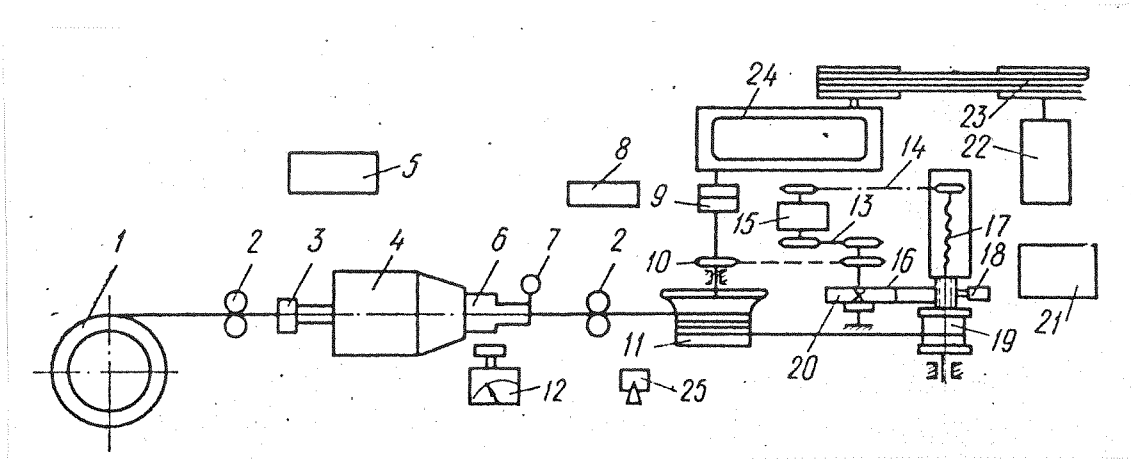
¹ Anmerkung: An der Arbeit wirkten V.F. Zacharov und N.N. Belovaja mit.

In Arbeiten aus der UdSSR und dem Ausland [1;2] wird die Effektivität des Einsatzes von Ultraschallschwingungen beim Ziehen gezeigt. Für die Anwendung des Ultraschalls unter Produktionsbedingungen sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig.

Die vorliegende Arbeit ist eine Fortsetzung früherer Untersuchungen [3] zum Ziehen unter Verwendung von Ultraschallschwingungen.

Für die Durchführung experimenteller Untersuchungen wurden zwei industrielle Versuchsanlagen projektiert und gebaut. Die erste ist eine Trommelziehbank für das Ziehen von Drähten mit einem Durchmesser von 0,8-5,0 mm aus NE-Metallen und -Legierungen mit Ultraschallschwingungen durch ein Werkzeug (das Ziehhol). Der Aufbau der Anlage wird in Abb. 1 gezeigt. Der Änderungsbereich für die Ziehgeschwindigkeit reicht von 3,15 m/min bis 37,18 m/min.

Abb. 1 Aufbau der Drahtziehmaschine



1-Abhaspelvorrichtung; 2-Bauelement für die Schwingungsdämpfung; 3-Meßdose; 4-magnetostriktiver Wandler; 5-Ultraschallgenerator; 6-Konzentrator mit Ziehhol; 7-Amplitudengeber; 8-Drehzahlmesser; 9-Kupplung; 10-Kettentrieb; 11-Ziehtrommel; 12-Frequenzmesser; 13 und 14-Kettentriebe; 15-Variator; 16-Zahnradtrieb; 17-Verteilungsspindel; 18-Drehgeber; 19-Wickeltrommel; 20-Reibungskupplung; 21-Magnetverstärker; 22-Motor; 23-Keilriementrieb; 24-Untersetzungsgetriebe; 25-Geschwindigkeitsregulator

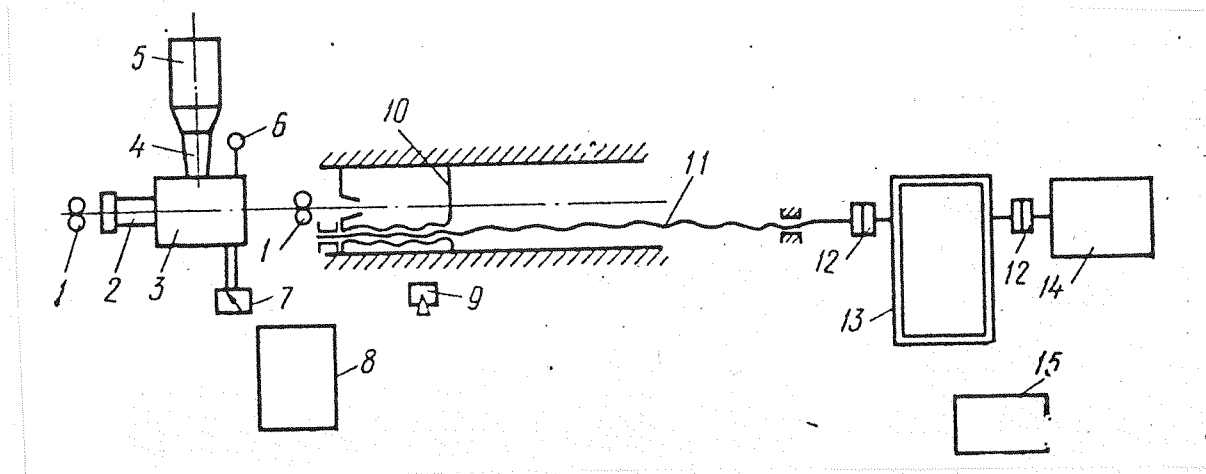
Zum Ultraschallelement der Anlage gehören ein Ultraschall-Röhrengenerator vom Typ UZM-11,5 mit einer Nennleistung von 1,5 kW und einer Arbeitsfrequenz von 15-30 kHz sowie ein speziell konstruierter magnetostriktiver Wandler mit einer Nennleistung von 1,5 kW, einer Arbeitsfrequenz von 18 kHz und einer Schwingungsamplitude von 2-3 Mikrometern. Die Blechpakete im Wandler bestehen aus Nickel. In der Anlage wurden zwei unterschiedlich konstruierte Bauelemente für die Schwingungsdämpfung verwendet:

- 1) ein Rollenelement;
- 2) ein Element mit einem zusätzlichen Ziehhol, das eine Reduzierung von 1-3 % erbringt.

Die Ziehbank ist mit Meßgeräten und einer Apparatur zur Kontrolle und Messung der Ziehkraft und Ziehgeschwindigkeit, der Schwingungsfrequenz, der Schwingungsamplitude des Werkzeugs und der Systemresonanz ausgerüstet. Der magnetostriktive Wandler läßt sich auf der Ziehbank sowohl parallel zur Ziehachse (horizontal) als auch senkrecht zu dieser Achse (vertikal) installieren, um die Versorgung mit longitudinalen und transversalen Ultraschallschwingungen zu gewährleisten.

Die zweite Anlage ist eine Ziehbank für die Herstellung von Stangenmaterial aus NE-Metallen und -Legierungen unter Verwendung von Ultraschallschwingungen mit einem Werkzeug (dem Ziehhol). Der Aufbau der Anlage wird in Abbildung 2 dargestellt.

Abb. 2: Aufbau der Stangenziehbank



- 1-Bauelement für die Schwingungsdämpfung; 2-Meßdose; 3-Matrize mit Ziehhol; 4-Konzentrator; 5-magnetostriktiver Wandler; 6-Amplitudengeber; 7-Frequenzmesser; 8-Ultraschallgenerator; 9-Geschwindigkeitsregulator; 10-Gleitschuh; 11-zweigängige Spindel; 12-Kupplung; 13-Untersetzungsgetriebe; 14-Elektromotor; 15-Magnetverstärker

Auf der Anlage wurden Stangen aus NE-Metallen und -Legierungen mit einem Durchmesser von 3-8 mm bei einer Geschwindigkeit von 1,13-3,57 m/min gezogen. Der Gleitschuh der Ziehbank wurde von einem Gleichstrommotor mit einer Leistungsstärke von 6 kW über ein Stirnradgetriebe und eine zweigängige Spindel angetrieben. Zur Ultraschallausrüstung gehören:

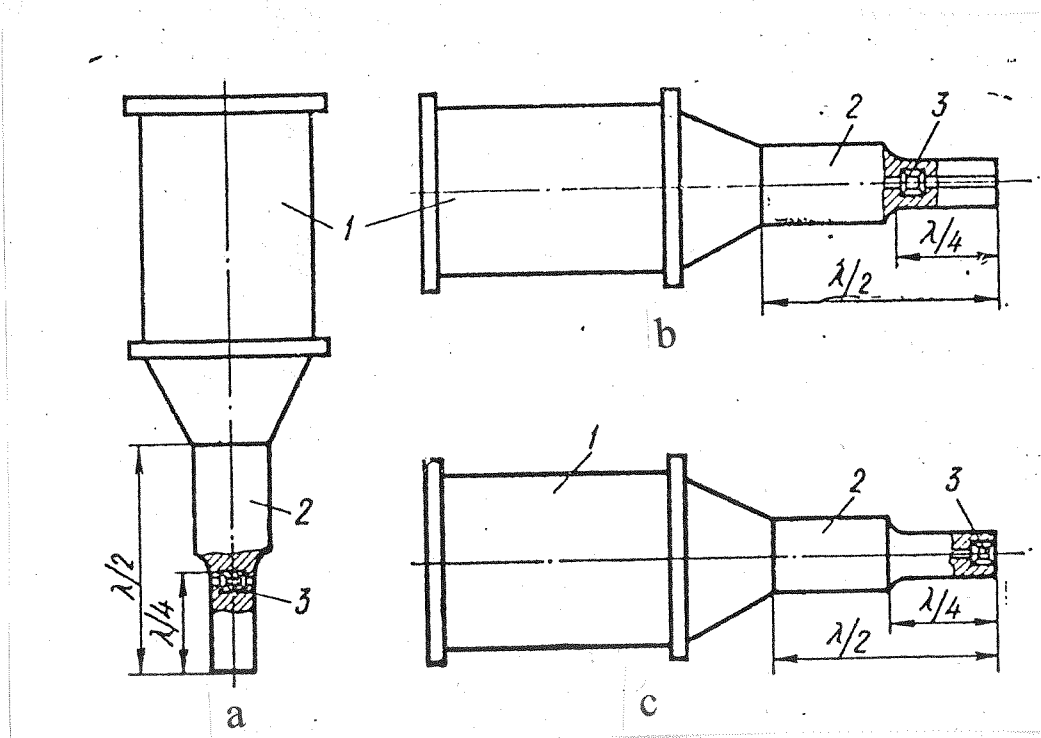
- a) eine Ultraschallquelle, der Ultraschallgenerator UZG-10U mit einer Nennleistung von 10 kW und einer Arbeitsfrequenz von 20,5-23,5 kHz;
- b) ein System für die Frequenzregulierung und -abstimmung, bestehend aus dem Schallsignalgenerator GZ-33 mit einer Leistung von 0,5 kW und einer Frequenz von 20-20000 Hz, der als zusätzlicher Verstärker für den Ultraschallgenerator UZG-104 mit einer Leistung von 0,4 kW und einer Arbeitsfrequenz von 18 kHz verwendet wird. Dieses System² ermöglicht es, eine stabile Resonanz zu bekommen und diese bei Belastungsveränderung aufrechtzuerhalten.
- c) ein magnetostriktiver Wandler vom Typ PMS-15A-18 mit einer Nennleistung von 0,4 kW, einer Arbeitsfrequenz von 18 kHz und einer Schwingungsamplitude an der Stirnfläche des Konzentrators von 20 µm.

Die Ziehbank ist mit Bauelementen für die Schwingungsdämpfung (Reflektoren), mit Geräten und Apparaturen für die Messung der Kraft und der Ziehgeschwindigkeit, der Schwingungsfrequenzen und -resonanzen sowie der Schwingungsamplituden des Werkzeugs ausgerüstet. Die Ziehkraft wurde mit Hilfe einer Röhrenmeßdose, die mit einem Scharnier befestigt wurde, des Stromversorgungsblocks, eines Dehnungsmeßverstärkers und eines aufzeichnenden Milliamperemeters gemessen.

Für das Draht- und Stangenziehen sind Spezialwerkzeuge projektiert und hergestellt worden. Das Werkzeug für das Drahtziehen besteht aus gestaffelten Konzentratoren mit angepreßten oder eingeschrumpften Ziehholern. Die Konzentratoren weisen unterschiedliche Verhältnisse zwischen den Durchmessern des dicken und dünnen Teils auf. Folglich haben sie auch verschiedene Verstärkungsfaktoren ($k_{Ver} = D^2/d^2$, wobei D der Durchmesser des dicken und d der Durchmesser des dünnen Teils des Konzentrators ist).

²An der Entstehung und Inbetriebnahme des Systems waren beteiligt: N. G. Vavrilov; E. D. Mezincev und K. V. Chilkov

Abb. 3 Aufbau des Werkzeugs für das Drahtziehen



a-Typ I; b-Typ II; c-Typ III;

1-magnetostruktiver Wandler; 2-Konzentrator; 3-Ziehhol

Dank der unterschiedlichen Anordnung der Ziehhole in den Konzentratoren (Abbildung 3), erhielten wir drei Schemata für die Ultraschalleinkopplung am Ziehhol. Die Ziehhole wurden folgendermaßen angeordnet:

- a) im Spannungsbauch senkrecht zur longitudinalen Ultraschallwelle (Transversalschwingungen) Werkzeugtyp I;
- b) im Spannungsbauch der longitudinalen Ultraschallwelle (Longitudinalschwingungen) Werkzeugtyp II;
- c) im Bewegungsbauch der longitudinalen Ultraschallwelle (Longitudinalschwingungen) Werkzeugtyp III.

Bei Veränderung der Beziehung D/d , d. h. bei Veränderung von k_{Ver} , ändert sich außer der Schwingungsamplitude A die Resonanzfrequenz des Werkzeugs. Diese Veränderung ist außerdem von den Abmessungen des Ziehholts abhängig, d. h. vom Durchmesser des gezogenen Drahtes. Es ist bekannt [4], daß der Geschwindigkeitsgradient den Charakter der plastischen Verformung und des Spannungszustandes beeinflusst.

Als Integralexponent wird unter Berücksichtigung des Einflusses aller Parameter des Ultraschallwerkzeugs ein sogenannter Schwingungskoeffizient angenommen:

$$K_s = \frac{A\omega^2}{g} = \frac{4\pi^2 Af^2}{g} \approx 0,04 Af^2$$

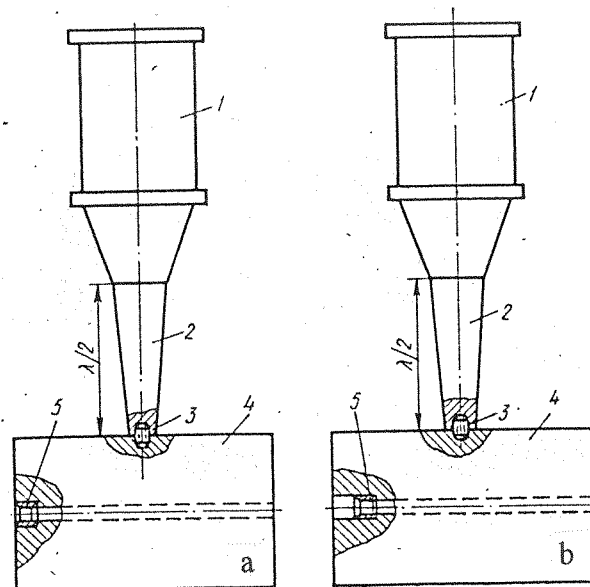
wobei A die Schwingungsamplitude in cm;
 $\omega = 2\pi f$ die Winkelgeschwindigkeit der Schwingungen;
 g die Beschleunigung durch Schwerkraft in cm/s^2
 und f die Resonanzfrequenz in Hz ist.

Der Ziehholinnendurchmesser betrug 0,85-2,5 mm, der Verstärkungsfaktor $k_{\text{Ver}} = 1,44-6,25$; die Schwingungsamplitude $(5-33) \cdot 10^{-4} \text{cm}$ und der Schwingungskoeffizient $(2,0-40,3) \cdot 10^3$.

Für das Stangenziehen mit Einkopplung von Ultraschallschwingungen wurde ein Spezialwerkzeug entsprechend den Urheberscheinen [5;6] projiziert. Dieses Werkzeug (Abb. 4) stellt ein geschlossenes akustisches System dar und besteht aus zwei selbständigen Elementen:

- 1) den konischen, auswechselbaren Konzentratoren mit unterschiedlichen Verstärkungsfaktoren und
- 2) der Matrize mit den Ziehholen.

Abb. 4: Aufbau des Werkzeugs für das Stangenziehen



a-Typ A; b-Typ B;
 1-magnetostruktiver Wandler; 2-konischer Konentrator; 3-Stiftsschraube; 4-Ma-
 trize; 5-Ziehhol

Angenommen wurde ein Schema mit Ultraschalleinkopplung senkrecht zur Ziehrichtung. Die Ziehhole wurden im Bewegungsbauch (Werkzeugtyp A) oder im Spannungsbauch (Werkzeugtyp B) angeordnet. Auf jeder Matrize gab es Anschlußstellen für piezokeramische Geber zur Messung der Schwingungsamplitude. Die vorgestellte Ausrüstung für das Stangenziehen kann auch bei großen statischen und dynamischen Belastungen sicher arbeiten. So ist es möglich, Stangen mit einem Durchmesser von 30 mm und mehr bei Einkopplung von Ultraschall zu ziehen.

Untersucht wurde der Vorgang des Drahtziehens aus schwer verformbarer Bronze Br.KMz 3-1; Br.B2; Nickel NP2; Messing LS58-2 und L63.

Bei allen drei Werkzeugtypen wurden folgende Ziehfolgen festgelegt:

- 1) Durchmesser 2,7 mm → 2,5 mm, $\epsilon=12,5\%$;
- 2) Durchmesser 2,1 mm → 1,82 mm, $\epsilon=12,5\%$;
- 3) Durchmesser 1,7 mm → 1,5 mm, $\epsilon= 22,5\%$;
- 4) Durchmesser 1,0 mm → 0,85 mm, $\epsilon=12,5$.

Das Stangenziehen aus Bronze Br.B2 und Messing LS63-3 erfolgte nach den Ziehfolgen:

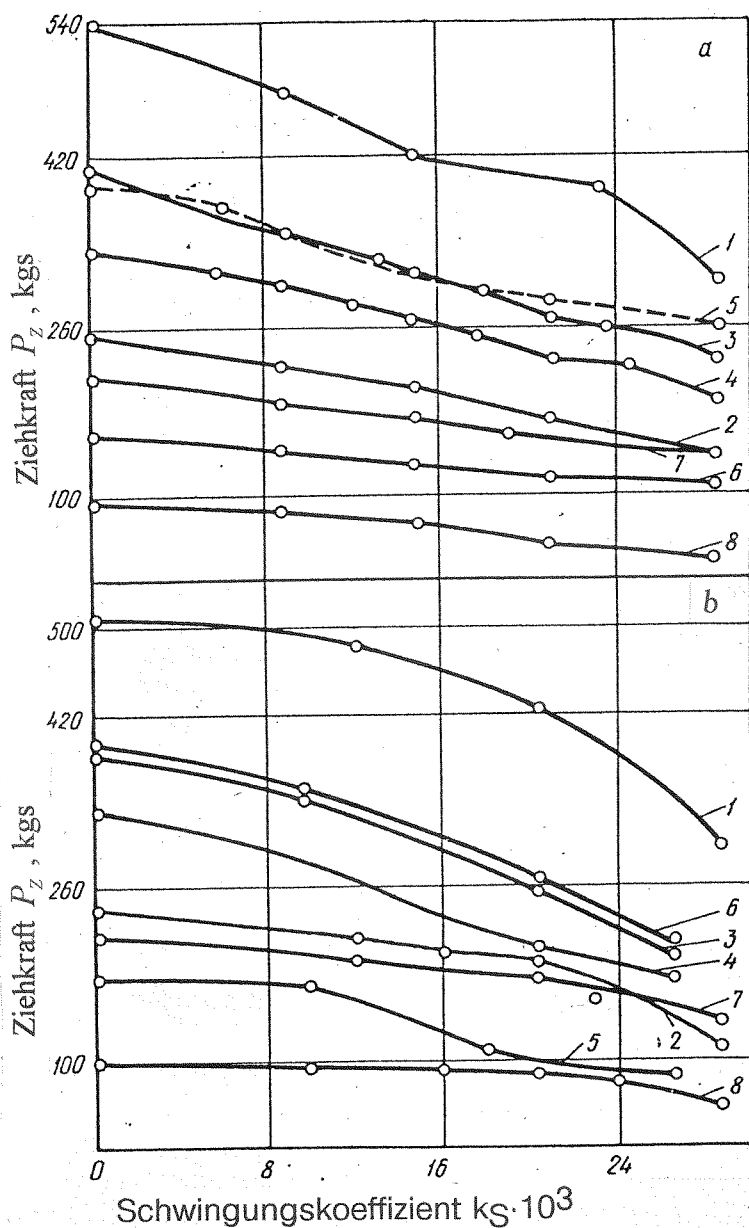
- 1) Durchmesser 6,5 mm → 6,0 mm, $\epsilon= 15\%$;
- 2) Durchmesser 7,0 mm → 6,0 mm, $\epsilon= 26,5\%$;
- 3) Durchmesser 7,5 mm → 6,0 mm, $\epsilon= 36\%$.

Es wurde der Einfluß der Ultraschallschwingungen auf die Ziehkraft, die Oberflächenqualität, die mechanischen Eigenschaften, die Struktur des Drahtes und der Stangen und die Restspannung in ihnen untersucht.

In Anbetracht der Tatsache, daß der Einfluß der Ultraschallschwingungen auf den Vorgang des Drahtziehens unter Verwendung eines Werkzeugs vom Typ III bereits in der Arbeit [3] detailliert erforscht wurde, erfolgten in der vorliegenden Arbeit hauptsächlich Untersuchungen mit den Werkzeugtypen I und II. Experimente unter Verwendung des Werkzeugtyps III wurden nur zum Vergleich angestellt.

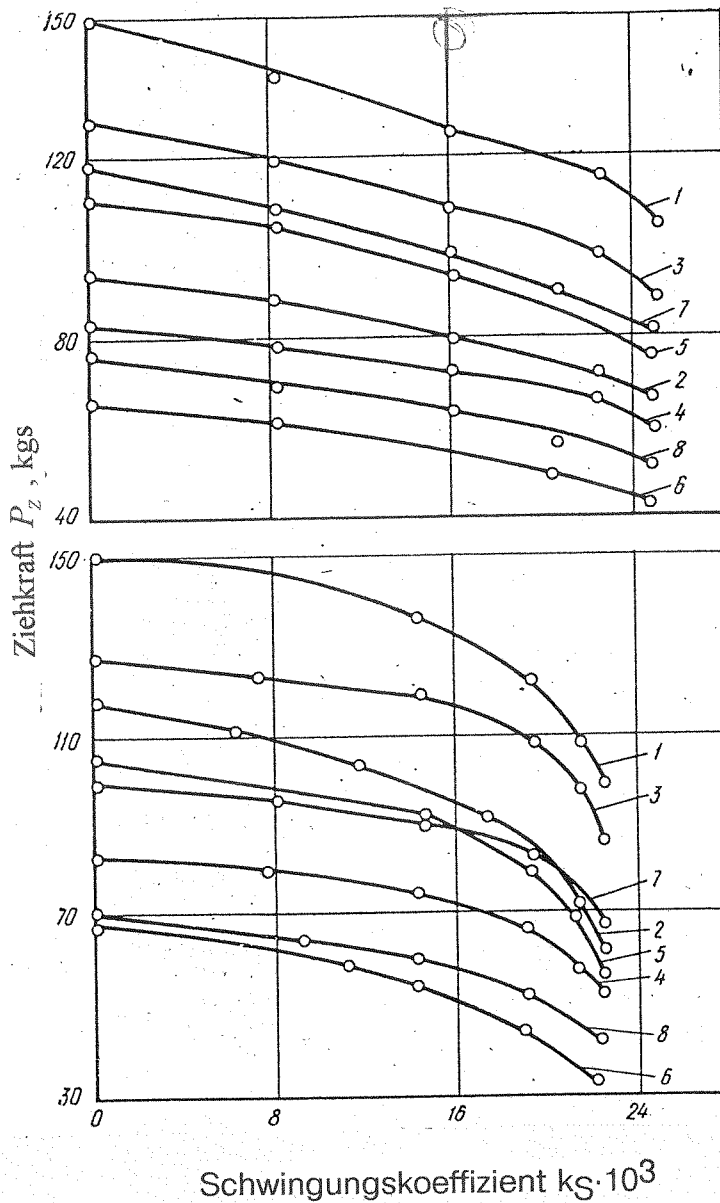
Auf den Abbildungen 5 und 6 wird die Abhängigkeit der Ziehkraft vom Schwingungskoeffizienten k_s beim Drahtziehen von einem Durchmesser von 2,7 mm auf einen Durchmesser von 2,5 mm und von einem Durchmesser von 2,1 mm auf einen Durchmesser von 1,82 mm unter Verwendung der Werkzeugtypen I und II dargestellt.

Abb. 5
Abhängigkeit der Ziehkraft vom Schwingungskoeffizienten beim Drahtziehen von einem Durchmesser von 2,7 mm auf einen Durchmesser von 2,5 mm unter Verwendung der Werkzeugtypen I(a) und II(b)



1-Nickel NP2, verfestigter Ausgangszustand; 2- Nickel NP2, geglühter Ausgangszustand; 3-Br.KMz3-1, verfestigter Ausgangszustand; 4-Br.KMz3-1, geglühter Ausgangszustand; 5-Br.B.2, verfestigter Ausgangszustand; 6-Br.B2, geglühter Ausgangszustand; 7-LS-58-2, verfestigter Ausgangszustand; 8-LS58-2, geglühter Ausgangszustand

Abb. 6: Abhängigkeit der Ziehkraft vom Schwingungskoeffizienten beim Drahtziehen vom Durchmesser 2,1 mm auf Durchmesser 1,82 mm unter Verwendung der Werkzeugtypen I(a) und II(b)



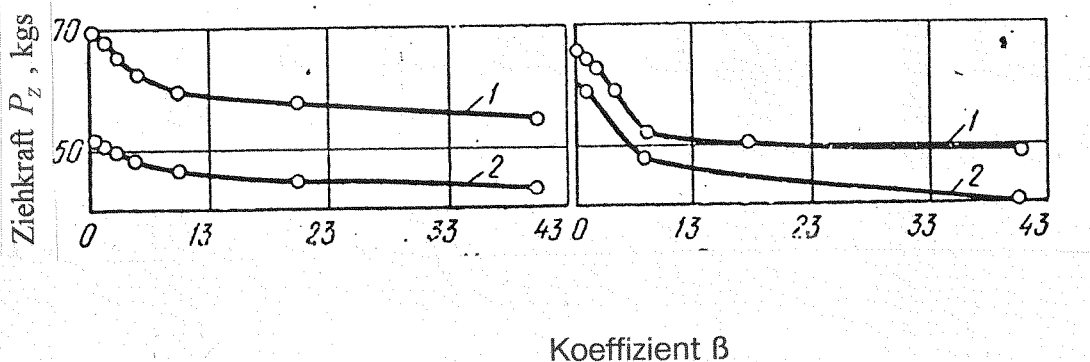
1-LS-58-2, verfestigter Ausgangszustand; 2-LS-58-2, geglähter Ausgangszustand; 3-Br.KMz-3, verfestigter Ausgangszustand; 4-Br.KMz3-1, geglähter Ausgangszustand; 5-Nickel NP2, verfestigter Ausgangszustand; 6-Nickel NP2, geglähter Ausgangszustand; 7-L63, verfestigter Ausgangszustand; 8-L63, geglähter Ausgangszustand

Da sich die Resonanzfrequenz f bei den Experimenten nur unwesentlich änderte, übte die Schwingungsamplitude des Werkzeugs den entscheidenden Einfluß auf die Ziehkraft aus.

Die Anwendung von Ultraschallschwingungen senkt die Ziehkraft bei allen drei Werkzeugtypen. Die Ziehkraftsenkung beträgt 10-45% in Abhängigkeit von der Schwingungsamplitude des Werkzeugs, der Ziehgeschwindigkeit und der Formänderung. Außerdem ist sie von den Eigenschaften und dem Ausgangszustand des Metalls abhängig. So war die Kraftsenkung bei den schwer verformbaren Materialien Br.KMz3-1 und Br.B2 kleiner als beim Ziehen von Messing L63. Die Ziehkraftsenkung war bei Materialien in verfestigtem Zustand kleiner als beim Ziehen von geglühten Materialien. Besonders deutlich wird dies bei der Verwendung der Werkzeugtypen I und II (das Ziehhol ist im Spannungsbauch senkrecht bzw. parallel zur Ziehrichtung angeordnet).

Das kann man damit erklären, daß in diesem Fall bei der Ziehkraftsenkung die Wechsellastspannungen eine entscheidende Rolle spielen, die im gezogenen Draht bei der Einkopplung von Ultraschallschwingungen entstehen. Sie senken die statischen Spannungen im Draht. Bei größeren statischen Spannungen, z. B. beim Ziehen von verfestigtem Draht oder im Falle einer Erhöhung des Formänderungsgrades, verringert sich der Teil der Spannungen, der durch Ultraschall hervorgerufen wird, und die relative Ziehkraftsenkung wird geringer.

Abb. 7: Abhängigkeit der Ziehkraft vom Koeffizienten β beim Drahtziehen von einem Durchmesser von 2,1 mm auf einen Durchmesser von 1,82 mm unter Verwendung der Werkzeuge vom Typ I(a) und II(b)



1-Bronze Br.KMz3-1, geglühter Ausgangszustand; 2-Messing L63, geglühter Ausgangszustand

Die Ziehkraftsenkung hängt in entscheidendem Maße (siehe Abb.7) von der Beziehung $\beta = \frac{v_S}{v_Z}$ ab,

wobei v_S die Schwinggeschwindigkeit der Ziehholts ist ($v_S=2\pi A$) und v_Z die Ziehgeschwindigkeit.

Da die Änderungsmöglichkeiten für die Resonanzfrequenz f in den Grenzen eines Ultraschallsystems gering sind, kann man die Geschwindigkeit v_S hauptsächlich durch Änderung der Schwingungsamplitude A ändern.

Indem man die Schwingungsamplitude erhöht, kann man die Schwinggeschwindigkeit des Ziehholts v_S erhöhen und folglich auch effektiver Einfluß auf die Ziehkraftsenkung nehmen.

Bei einer Schwingungsamplitude A des Ziehholts von $60\mu\text{m}$ ist die Anwendung von Ultraschall effektiv. Eine solche Schwingungsamplitude läßt sich mit dem serienmäßig hergestellten Ultraschallgenerator UZG-10-22, dem Standard-Magnetwandler PMS-15A-18 mit einer Schwingungsamplitude des Wellenleiters von $20\mu\text{m}$ sowie mit einem konischen $\lambda/2$ -Konzentrator mit einem Verstärkungsfaktor $k_V=3$ erreichen.

Die Experimente zeigten, daß bei gleicher Ziehkraftsenkung für alle drei Werkzeugtypen die Werkzeugtypen I und II besonders vorteilhaft waren, weil sie eine stabile Arbeit des Systems in Resonanzbedingungen gewährleisten. Das ist besonders für die Verwendung von Ultraschall bei der industriellen Herstellung von Drähten und Stangen wichtig.

Als optimale Konstruktion der Dämpfungsbaugruppe erweist sich in vielen Fällen ein zusätzliches Ziehhol, in dem eine Reduktion von $\epsilon=1,5-2\%$ erfolgt. Im Idealfall sollte die Dämpfungskraft 10-18% von der Ziehkraft betragen. Bei einer größeren Dämpfungskraft wächst die Ziehkraft zu schnell an, und das Metall heizt sich im Bereich der Dämpfungsbaugruppe auf.

Der hauptsächlichste Unterschied des Werkzeugs für das Stangenziehen, das auf der Grundlage der Arbeiten [5;6] geschaffen wurde, besteht darin, daß sich die Ziehkraft im wesentlichen auf Grund der Senkung der Reibkraft an der Kontaktfläche verringert, infolge der Querverschiebung (senkrecht zur Drahtoberfläche) der Oberfläche des reduzierenden Werkzeugs (des Ziehholts).

Wie bereits oben ausgeführt, wurden zwei Werkzeugtypen verwendet: Typ A - das Ziehhol ist im Bewegungsbauch angeordnet und Typ B - das Ziehhol ist im Spannungsbauch angeordnet. Im Verlauf der Experimente betrug die Schwingungsamplitude des Ziehholts $2-3\mu\text{m}$ und die Resonanzfrequenz $f=18,5:19\text{kHz}$.³

³An der Durchführung der Experimente nahmen E.D.Mezincev und K.V.Chilkov teil.

Die Werte für die Ziehkraftsenkung beim Stangenziehen mit Einkopplung von Ultraschallschwingungen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1
Einfluß der Ultraschallschwingungen auf die Ziehkraft

Werkzeugtyp	Art der Legierung	Ausgangszustand des Materials	Ziehfolge, mm	Formänderungsgrad, %	Ziehkraft P_z , kgs (x10H)		ΔP_z , %
					ohne Ultraschall	mit Ultraschall	
A	LS63-3	geglüht	7,0-6,0	26,5	457	305/380	33,3/17,0
	LS63-3	kalt, verfestigt	7,0-6,0	26,5	960	800/830	16,6/13,5
	LS63-3	geglüht	7,5-6,0	36,0	742	529/630	28,6/15,0
	Br.B2	geglüht	6,5-6,0	15,0	571	370/457	35,2/2,0
	Br.B2	kalt, verfestigt	6,5-6,0	15,0	857	643/686	25,0/20,0
B	LS63-3	geglüht	7,0-6,0	26,5	457	315/390	31,0/15,0
	LS63-3	kalt, verfestigt	7,0-6,0	26,5	960	815-845	15,0/12,0
	LS63-3	geglüht	7,5-6,0	36,0	742	558/642	24,7/13,5
	Br.B2	geglüht	6,5-6,0	16,0	571	429/486	25,0/15,0
	Br.B2	kalt, verfestigt	6,5-6,0	15,0	857	671/771	21,6/10,0

Den ersten Wert erhielt man bei einer Ziehgeschwindigkeit von 1,13m/min, den zweiten bei einer Ziehgeschwindigkeit von 3,33m/min.

In Abhängigkeit vom Werkzeugtyp, der Legierung und ihrem Ausgangszustand, der Reduzierung und der Ziehgeschwindigkeit betrug die Ziehkraftsenkung 10-35%. Mit wachsender Ziehgeschwindigkeit verringerte sich die Wirkung des Ultraschalleinflusses.

Untersuchungen haben gezeigt, daß die Effektivität von solchen Schmiermitteln wie Maschinenöl, Pflanzen- und Mineralöl-Gemisch, Emulsion aus der Paste C-4, Seifenemulsion und Seifenpulver wegen der Erhöhung ihres Adhäsionsvermögens steigt. Aber beim Einkoppeln von Ultraschallschwingungen erwärmen sich die Schmiermittel und ihre Viskosität und ihr Absorptionsvermögen verringern sich. Infolgedessen fließt das Schmiermittel manchmal aus der Umformzone ab, oder es wird ausgestoßen.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Versuch unternommen, den Einfluß der Ultraschallschwingungen auf die Reibkraft zwischen Metall und Ziehhol quantitativ abzuschätzen. Dafür wurde ein spezielles Stahlziehhol mit einer großen Ausdehnung der Kalibrierzone hergestellt. Vorgesehen war eine Reduktion im Ziehhol von ungefähr 0,5%. Da die plastische Verformung unbedeutend ist, kann man annehmen, daß die Ziehkraft in diesem Fall auf die Überwindung der Reibungskräfte zwischen Metall und Ziehhol verwendet wird. Somit kann man den Einfluß des Ultraschalls auf die Reibkräfte nach der Differenz zwischen den Ziehkraften mit und ohne Ultraschall beurteilen. Das Ziehhol wurde in der Matrize für das Stangenziehen im Bewegungsbauch angeordnet (Werkzeugtyp A).

Die Experimente erfolgten einmal ohne Schmiermittel und einmal mit Seifenpulver als Schmiermittel. Das Messingziehen von LS63-3 wurde nach folgender Ziehfolge durchgeführt: Durchmesser 6,0 mm → Durchmesser 5,98 mm, $\varepsilon=0,5\%$.

Die Meßwerte werden in Tabelle 2 angeführt.

Tabelle 2
Ziehkraftsenkung beim Einkoppeln von Ultraschallschwingungen

Ausgangszu- stand des Materials	Schmiermittel	Ziehkraft							
		ohne Ul- traschall	mit Ultraschallzufuhr bei einer Zieh- geschwindigkeit von ... m/min						
			kgs (x10H)	1,13		1,935		3,33	
				kgs (x10H)	%	kgs (x10H)	%	kgs (x10H)	%
geglüht	ohne Schmier- mittel	114	43,0	62,4	50	56	57	50	
kalt, verfe- stigt	ohne Schmier- mittel	296	86	71,0	100	66,2	114	61,5	
geglüht	Seifenpulver	71,5	35,8	49,5	41,0	44,0	47,5	33,6	
kalt, verfe- stigt	Seifenpulver	100	52	48,0	60	40,0	69,0	31,0	

Die Ziehkraftsenkung, die unter den angenommenen Voraussetzungen mit der Senkung der Reibkraft beim Einkoppeln von Ultraschall identisch ist, betrug in Abhängigkeit vom Zustand des Materials, der Ziehgeschwindigkeit und dem Schmiermittel 31-71%. Interessant ist die Feststellung, daß beim Ziehen mit Schmiermittel die Verringerung der Reibkraft bei Einkopplung von Ultraschall bedeutend kleiner war. Die Reibkraft verhält sich bei Konstanz der Temperatur, Geschwindigkeit und der übrigen Bedingungen proportional zur Reibzahl. Deshalb läßt sich schlußfolgern, daß die Senkung der Reibkraft bei der Einkopplung von Ultraschall auf Grund der Verringerung der Reibzahl erfolgte.

Die Einkopplung von Ultraschall in das Werkzeug übt einen spürbaren Einfluß auf die Oberflächenqualität des gezogenen Materials aus. So haben Drähte aus Messing (Münzmetall) LS58-2, LS63-3, Bronze Br. KMz 3-1 (Everdur) und Br. B 2 (Berilliumbronze) beim Ziehen mit Ultraschall bei allen drei Werkzeugtypen eine glänzendere Oberfläche als beim Ziehen unter gewöhnlichen Bedingungen. Die Untersuchungen der Oberflächenqualität der Stangen auf dem Profilografen Modell 235 zeigte, daß die Stangen die mit Ultraschall gezogen wurden, die Oberflächengüteklasse 11.-12. haben (Höhe der Formrisse: $0,078\mu\text{m}$). Im Vergleich dazu haben die Stangen, die ohne Ultraschall bearbeitet wurden, die Oberflächengüteklasse 9.-10. (Höhe der Formrisse: $0,13\mu\text{m}$).

Der Einfluß des Ultraschalls auf die Metallstruktur wurde am Längs- und Querschliff untersucht. Bedeutende Unterschiede in der Mikrostruktur der Drähte und Stangen, die mit Ultraschall gezogen wurden, sind nicht zu beobachten. In einigen Fällen ist die Verformungstextur bei den Legierungen, die mit Ultraschall gezogen wurden, weniger ausgeprägt als bei den unter konventionellen Bedingungen gezogenen. Auf Abb. 8 ist die Mikrostruktur von Messing LS 58-2 (Münzmessing) dargestellt.

Die Dehnung des Metalls b ist beim Ziehen mit Einkopplung von Ultraschall etwas größer als im Vergleich zum konventionellen Ziehen (Abb. 9,a). An der Streckgrenze σ_S und wegen der Zugfestigkeit σ_Z des Metalls hat die Schwingungslage praktisch keine Auswirkungen (Abb. 9,b,c).

Die Mikrohärtigkeit H50 wurde am Längs- und Querschliff an fünf bis sieben Punkten gemessen. In der Mehrzahl der Fälle verteilt sich beim Ziehen mit Ultraschall die Mikrohärtigkeit gleichmäßiger, und der Wert ist etwas geringer als beim Ziehen ohne Einkopplung von Ultraschallschwingungen (Abb. 10).

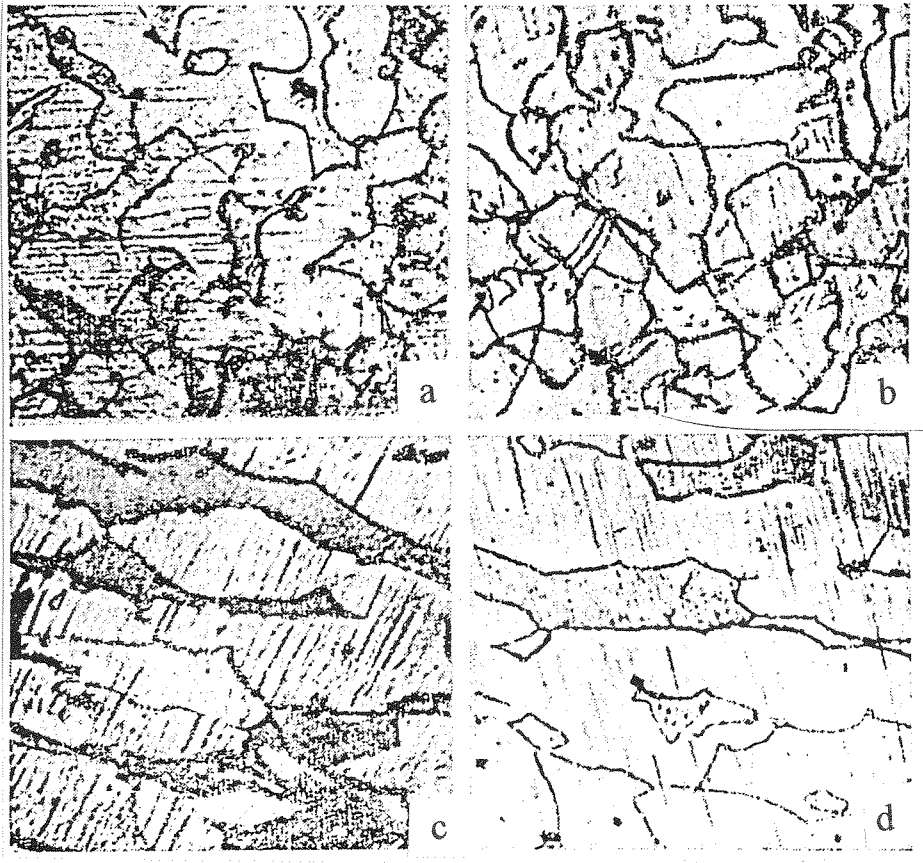


Abb. 8: Mikrostruktur des Drahtes aus der Legierung LS 58-2 (Münzmetall) nach dem Ziehen unter Verwendung des Werkzeugtyps I:

a und c-Ziehen ohne Ultraschall; b und d-Ziehen mit Ultraschall;
a und b-Querschliff; c und d-Längsschliff

Abb. 9: Einfluß der Ultraschallschwingungen auf die relative Längenzunahme (Dehnung) (a), die Streckgrenze (b) und die Zugfestigkeit (c) des Metalls beim Drahtziehen vom Durchmesser 2,1 mm auf den Durchmesser 1,82 mm unter Verwendung des Werkzeugtyps I

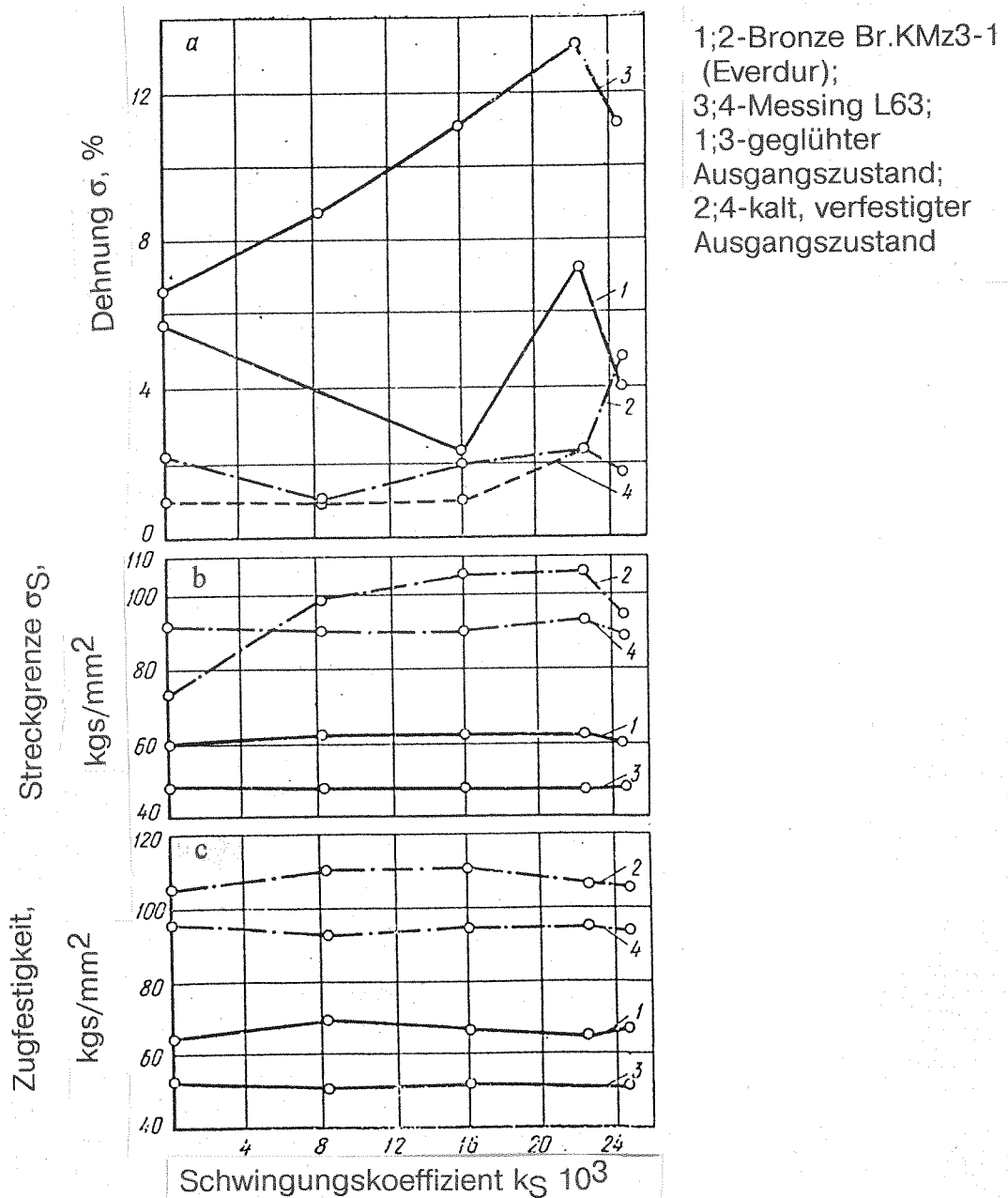
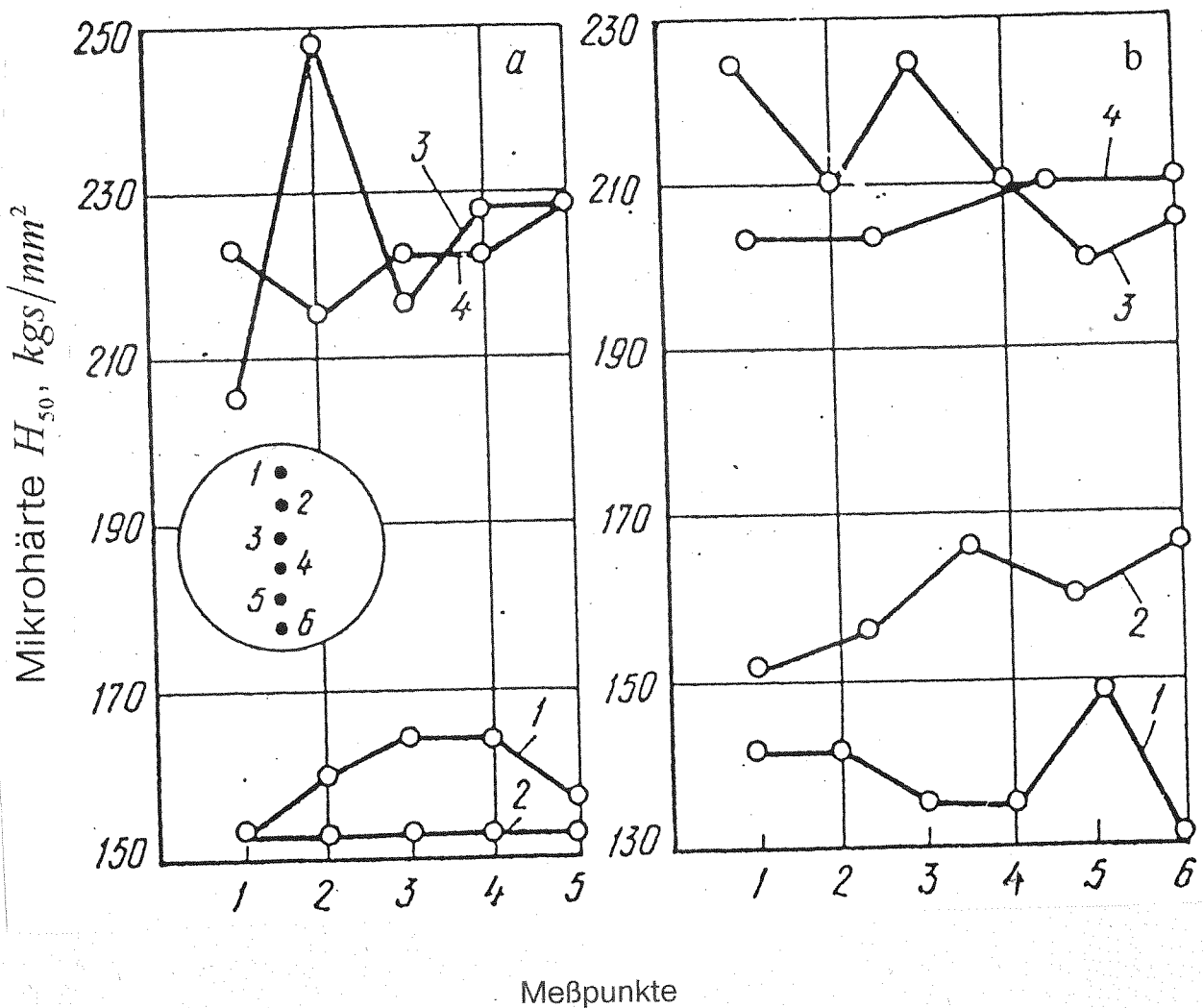


Abb. 10: Verteilung der Mikrohärtigkeit über den Querschnitt des Messingdrahtes aus L63 nach dem Ziehen vom Durchmesser 2,1 mm auf den Durchmesser 1,82 mm ohne und mit Ultraschall unter Verwendung von Werkzeugtyp I(a) und Typ II(b):

1;2-geglühter Ausgangszustand; 3;4 kalt, verfestigter Ausgangszustand;
1;3-Ziehen ohne Ultraschall; 2;4-Ziehen mit Ultraschall



Besonders deutlich wird dies bei Anwendung der Werkzeugtypen I und II (Ziehhol im Spannungsbauch). In diesen Fällen aktiviert die Energie der Ultraschallschwingungen Versetzungen und erhöht ihre Beweglichkeit (Fließbarkeit). Dies führt zu einer gleichmäßigeren Umformung und folglich auch zu einer gleichmäßigeren Verteilung der Mikrohärtete.

Röntgenografische Untersuchungen zeigten, daß das Niveau der Restspannungen in den Stangen, die mit Ultraschall gezogen wurden, um 10-35% niedriger als in den Stangen, die nach dem konventionellen Verfahren gezogen wurden.

Bei der Untersuchung des Einflusses der Ultraschallschwingungen auf die Korrosionsfestigkeit des Bronzedrahtes aus Br.Mz3-1 (Everdur) zeigte sich, daß der mit Ultraschall bearbeitete Draht nach 60 min riß und der ohne Ultraschall bearbeitete nach etwa 30 min. Dies zeugt von einer größeren Korrosionsfestigkeit der unter Einkopplung von Ultraschall gezogenen Werkstoffe.

Außer nach den oben angeführten Ziehfolgen wurde zur Bekräftigung der Möglichkeit, die Reduktion durch Anwendung von Ultraschall zu vergrößern, Draht aus Messing L63, LS58-2 (Münzmessing), LS63-3 und Bronze Br.KMz3-1 (Everdur), Br.B2 (Berilliumbronze) von einem Durchmesser von 2,1 mm auf einen Durchmesser von 1,5 mm mit einer Reduktion von 49% und von einem Durchmesser von 1,82 mm auf einen Durchmesser von 1,5 mm mit einer Reduktion von 32% gezogen. Beim Ziehen mit einer Reduktion von 49% mit Ultraschall betrug die Ziehkraftsenkung 10-17%, beim Ziehen mit einer Reduktion von 32% betrug sie 20-22%.

Diese Experimente bekräftigen die Möglichkeit der Erhöhung der Einzelabnahmen während eines Durchlaufs beim Ziehen von schwer verformbaren Legierungen aus NE-Metallen sowie die Möglichkeit der Verringerung der Zahl der Durchläufe um 25-30%. Dabei erhöhen sich die Oberflächenqualität und die Korrosionsfestigkeit des Drahtes und der Stangen.

Am zweckmäßigsten ist es, beim Draht- und Stangenziehen aus schwerverformbaren NE-Metall-Legierungen Ultraschallschwingungen zu verwenden.

Für den Einsatz des Ultraschalls unter industriellen Bedingungen ist es notwendig, das verwendete Werkzeug zu vereinfachen und zu vereinheitlichen, sowie die Zuverlässigkeit und Stabilität der Arbeit des Ultraschallgenerators zu erhöhen.

Literatur

1. Северденко В.П., Клубович В.В., Степаненко А.В.: Обработка металлов давлением с ультразвуком. Минск, "Наука и техника", 1973, 325 с. с ил.
Severdenko, V.P.; Klubovič, V.V.; Stepanenko, A.V.: Obrabotka metallov davleniem s ul'trazvukom. Minsk: Verlag "Nauka i tehnika", 1973.
/Druckumformen mit Ultraschall; russ./
2. Bazan, I.; Pasierb, A: Badania nad zastosowaniem wibracji w procesie ciągnięcia. In: "Archiwum Hutnictwa", Warszawa, 17(1972); S. 55-71.
/Investigations Concerning the Application of Vibrations in the Process of Metal Drawing; poln./
3. Бирман Е.И.; Пирязев Д.И.: Исследование процессов обработки давлением цветных металлов. Москва, "Металлургия", 1972 (Науч. тр. ин-та "Гипроцветметобработка". Вып. 38), с. 123-132 с ил.
Birman, E.I.; Pirjazev, D.I.: Issledovanie processov obrabotki metallov davleniem cvetnykh metallov. In: Naučnye trudy. Gosudarstvennyj naučno-issledovatel'skij i projektnyj institut splavov i obrabotki cvetnykh metallov. Moskva: "Metallurgija", 38(1972), S. 123 - 132.
/Untersuchung der Druckumformprozesse bei Nichteisenmetallen; russ./
4. Крупин А.В.; Соловьев В.Я.: Пластическая деформация тугоплавких металлов. Москва, "Металлургия", 1971. 352 с. с ил.
Krupin; A.V.; Solov'ev, V.Ja.: Plastičeskaja deformacija tugoplavkich metallov. Moskva:"Metallurgija",1971.
/Plastische Umformung von schwerschmelzbaren Metallen; russ./
5. Китайгородский Ю.И.; Мезинцев Е.Д.; Хилков Б.В.; Хилков К.В. Авт.свид.: № 301186 (кл. В 21 с 23/00 В 21 с 25/02).-"Открытия, изобретения, пром. образцы", 1971, № 14, с. 22-23.
Kitajgorodskij, Ju. I.; Mezincev, E.D.; Chilkov, B.V.; Chilkov, K. V.: Ul'trazvukovaja nepaz"emnaja matrica. In: "Otkrytija, izobretenija, promyšlennye obrazcy, tovarnye znaki. Moskva, 14(1971), S. 22 - 23.
Patentschrift Nr 301186 (B 21 с 23/00; B 21 с 25/02).
cover-to-cover-translation in:
Soviet Investigations Illustrated. Section II. December 1971, p. 62:
Kitaigorodskii, Yu.I.; Mezintsev, E.D., Khilkov, B.V., Khilkov, K.V.: Ultrasonic Matrix.
/Englisch/

6. Китайгородский Ю.И.; Мезинцев Е.Д.; Хилков Б.В.; Хилков К.В. Авт.свид.: № 308784 (кл. В 21 с 23/00 В 21 с 25/02).- "Открытия, изобретения, пром. образцы", 1971, № 22, с. 29.

Kitajgorodskij, Ju. I.; Mezincev, E.D.; Chilkov, B.V.; Chilkov, K. V.: Sposob ul'trazvukovoj obrabotki materialov. In: "Otkrytija, izobretenija, promyšlennye obrazcy, tovarnye znaki. Moskva, 22(1971), S. 29.

Patentschrift Nr 308784 (B 21 с 23/00 B 21 с 25/02).

cover-to-cover-translation in:

Soviet Investigations Illustrated. Section III, March 1972, p. 24:

Kitaigorodskii, Yu.I.; Mezintsev, E.D., Khilkov, B.V., Khilkov, K.V.: Method of Ultrasonic Machining.

/Englisch/

Stuttgart, den 30. 11. 1994

übersetzt von:

Sören Ludwig
(Sören Ludwig)

Ottmar Pertschi

Ottmar Pertschi
(Diplom-Übersetzer)