

Title	Forschung in Bezug auf das Schweißlichtbogengeräusch (Bericht 5) : Einfluß der Stromwellenform auf das Schweißlichtbogengeräusch bei Wolframschutzgasschweißen(WELDING PHYSICS, PROCESSES AND INSTRUMENTS)
Author(s)	Arata, Yoshiaki; Inoue, Katsunori; Futamata, Masami et al.
Citation	Transactions of JWRI. 1982, 11(1), p. 31-35
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/6056
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

Forschung in Bezug auf das Schweißlichtbogengeräusch (Bericht 5)[†]

— Einfluß der Stromwellenform auf das Schweißlichtbogengeräusch bei Wolframschutzgasschweißen —

Yoshiaki ARATA*, Katsunori INOUE*, Masami FUTAMATA**, Tetsuo TOH***

Auszug

Diese Abhandlung untersucht den Einfluß der Änderung (Pulsieren) der Stromwellenform auf das Verhalten des Schweißlichtbogens und des Schweißlichtbogengeräusches für vier Arten von Wellenformen.

Zuerst wird durch Hochgeschwindigkeitsfotografie und Oszillogrammbeobachtung gezeigt, daß der Schweißlichtbogen beim Grundstrom maximal zusammengezogen und beim Spitzenstrom maximal ausgedehnt ist, und es wird geklärt, daß diese Formänderung phasenmäßig und frequenzmäßig mit den Änderungen der Stromwellenform übereinstimmt. Anschließend werden für diese Ergebnisse theoretische Betrachtungen durchgeführt, und es wird vorgeschlagen, die Geräuschquelle für das Schweißlichtbogengeräusch als Atmungskugel zu behandeln.

KEY WORDS: (Acoustics) (Arc Welding) (Process Parameter) (Environment)

1. Einleitung

Die Autoren haben den Einfluß der Stromwellenform auf das Schweißlichtbogengeräusch durch vergleichende Untersuchungen für vier Wellenformen untersucht, und sie haben geklärt, daß das Schweißlichtbogengeräusch eine von der Stromwellenform abhängige Charakteristik zeigt, daß der Schalldruck P_e durch die Wiederholungsfrequenz f_p der Stromwellenform und die Stromamplitude τ_p bestimmt wird, und daß zwischen diesen drei Faktoren die Beziehung $P_e \propto f_p^m \cdot \tau_p^n$ besteht.¹⁾

In dieser Abhandlung wird von den Ergebnissen von Hochgeschwindigkeitsfotografie und Oszillogrammbeobachtungen her geklärt, daß die Formänderung des Schweißlichtbogens phasenmäßig und frequenzmäßig mit den Änderungen der Stromwellenform übereinstimmt, und es wird vorgeschlagen, die Geräuschquelle des Schweißlichtbogengeräusches als Atmungskugel zu behandeln.

2. Versuchsmethode

Der untersuchte Schweißlichtbogen ist ein Wolframschutzgasschweißlichtbogen unter Verwendung einer transistorgesteuerten Gleichstromschweißstromversorgung, erzeugt auf einer wassergekühlten Kupferplatte, mit Rechteckwellenstrom, Sägezahnwellenstrom, Dreieckwellenstrom und Sinuswellenstrom. Da in diesem Fall Elektrodenverschleiß und Bildung eines

Schweißbades nicht auftreten, kann angenommen werden, daß das Verhalten von Schweißlichtbogen und Schweißlichtbogengeräusch vollständig von der Stromwellenform abhängt.

Für die Hochgeschwindigkeitsfotografie des Lichtbogens und die Aufzeichnung von Schalldruckwellenform, Strom- und Spannungswellenform für den Schweißlichtbogen wurden Zeitmarkierungen in Abständen von 1/1000 s auf dem Film und auf dem Magnetband aufgezeichnet, um Vergleichbarkeit des zeitlichen Ablaufes für die einzelnen Erscheinungen zu erhalten. Das zeitliche Verhalten des Schweißlichtbogens wurde an Hand der Flächenänderung des Schweißlichtbogenbildes bewertet.

3. Versuchsergebnisse und Betrachtungen

3.1 Lichtbogenverhalten

Der zeitliche Ablauf des Lichtbogenverhaltens ist in **Abb. 1** gezeigt, und der zeitliche Ablauf des Verhaltens von Strom und Schalldruck ist in **Abb. 2** gezeigt. Die Bedingungen für die Schweißlichtbogenerzeugung sind hierbei der Basisstrom $I_b=50$ A, der Spitzenstrom $I_p=150$ A, und der Rechteckwellenstrom mit der Wiederholungsfrequenz $f_p=100$ Hz. Aus **Abb. 1** und **Abb. 2** kann gesehen werden, daß die äußere Erscheinung des Lichtbogens bei I_b die größte Zusammenziehung in Richtung der Polachse zeigt, während sie bei I_p die größte Ausdehnung zeigt. Diese Formänderung des

[†] Received on March 31, 1982

* Professor

** Co-operative Researcher (Assistant, Kitami Institute of Technology)

*** Professor, Kitami Institute of Technology

Transactions of JWRI is published by Welding Research Institute of Osaka University, Ibaraki, Osaka, Japan

Schweißlichtbogens stimmt phasenmäßig und frequenzmäßig mit der Änderung der Stromwellenform überein. Andererseits zeigt das Schweißlichtbogengeräusch am Punkt der Änderung von I_b zu I_p bzw. von I_p zu I_b den maximalen momentanen Schalldruck, und es zeigt ein Verhalten wie für Überlagerung des kontinuierlichen Geräusches durch Impulsgeräusch.

Abbildung 3 zeigt ein Beispiel für die Beurteilung des zeitlichen Ablaufs des Verhaltens des Schweißlichtbogens an Hand der Änderung der Bildfläche des Schweißlichtbogens. Diese Methode kann wie folgt umrissen werden. Das Schweißlichtbogenbild auf dem Hochgeschwindigkeitsfilm (16 mm) durchläuft ein optisches System, es wird vergrößert auf eine Mattglasscheibe projiziert, dieses Bild wird durch ein Gitter mit angemessener Teilung unterteilt, und die Transparenzdichte (D-Wert) des Bildes an den einzelnen Teilungspunkten wird durch einen fotoelektrischen Dichtemesser (Meßgenauigkeit: $\pm 0.05 D$) an der Rückseite der Mattglasscheibe gemessen. Die Kurve der Punkte gleicher Dichte ist in Abb. 4 gezeigt (Abbildung 4 ist ein Meßbeispiel für die Zeitmarkierung

6 in Abb. 1), und die von dieser Kurve umschlossene Fläche S wird durch die auf die gleiche Weise erhaltene maximale Fläche S_{max} im Zeitablauf dimensionslos gemacht. Abbildung 3 zeigt S/S_{max} auf der vertikalen Achse und den zeitlichen Ablauf auf der horizontalen Achse für die von der Kurve der Punkte gleicher Dichte für den Wert 0.2 D umschlossene Fläche bei Behand-

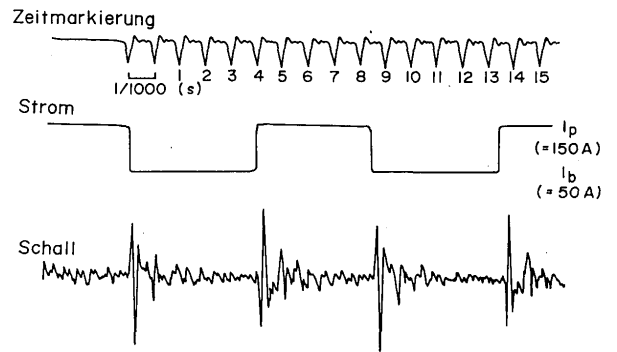


Abb. 2 Oszillogramm von Strom und Schalldruck. ($I_p=150A$, $I_b=50A$, $f_p=100 Hz$)

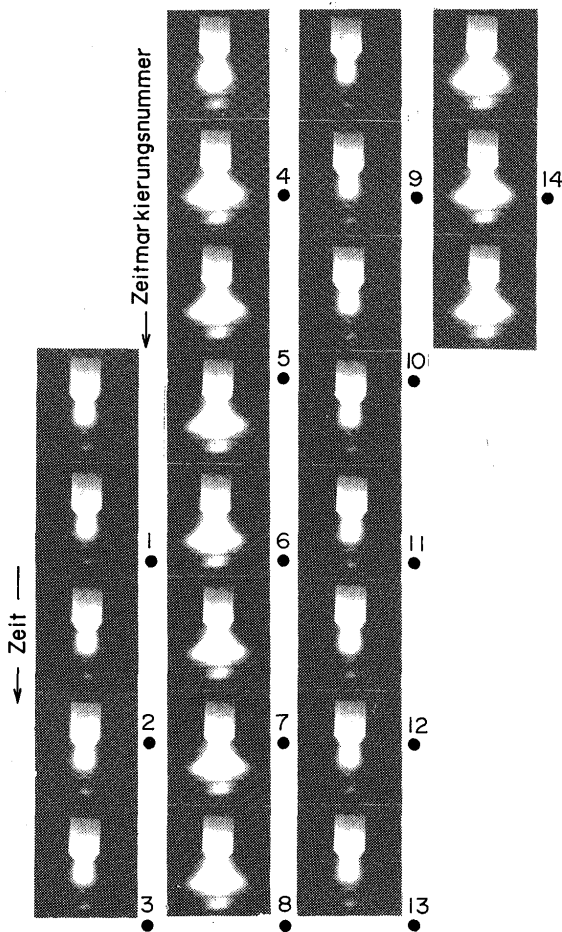


Abb. 1 Lichtbogenverhaltens in zeitlichen Abläufe. ($I_p=150A$, $I_b=50A$, $f_p=100 Hz$)

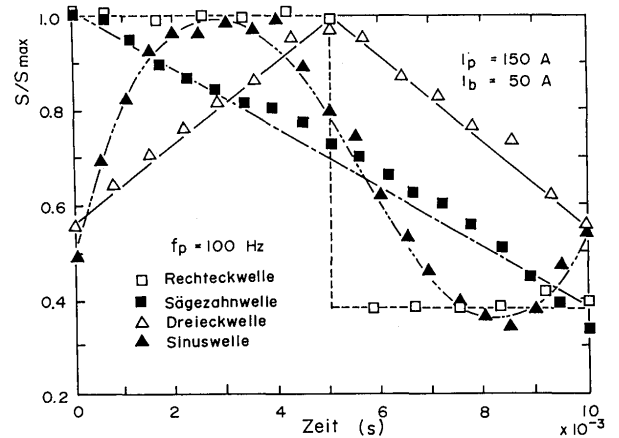


Abb. 3 Zeitlicher Wechsel der Proportion S/S_{max} .

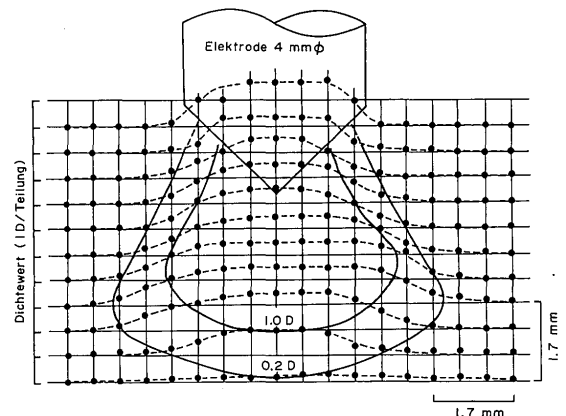


Abb. 4 Meßbeispiel zur Transparenzdichte.

lung des Schweißlichtbogenbildes nach dieser Methode. Der Grund für die Verwendung des Wertes 0.2 D liegt darin, daß die Konturlinie des in Abb. 1 gezeigten Schweißlichtbogenbildes in etwa dieser Kurve der Punkte gleicher Dichte entspricht, und ansonsten hat die Verwendung dieses Wertes keinen besonderen Sinn. Wie aus Abb. 3 gesehen werden kann, zeigt die Änderung von S/S_{\max} für alle vier Stromwellenformen eine äußerst gute Ähnlichkeit mit der Änderung der Stromwellenform, weshalb gesagt werden kann, daß das visuelle Verhalten des Schweißlichtbogens bei Änderung der Stromwellenform makroskopisch der Stromwellenform ähnelt.

3.2 Theoretische Betrachtung des Schweißlichtbogengeräusches

Aus den obigen Beobachtungsergebnissen kann angenommen werden, daß das Schweißlichtbogengeräusch bei Verwendung von pulsierendem Strom dadurch verursacht wird, daß die Schwingungen durch Zusammenziehung und Ausdehnung des Schweißlichtbogens durch das Pulsieren in der Nähe des Schweißlichtbogens Druckänderungen des Luftdrucks um das Gleichgewichtszentrum herum verursachen. Wenn dementsprechend die Frequenz der Schwingungen durch Zusammenziehung und Ausdehnung des Schweißlichtbogens niedrig ist und die Abmessungen des Schwingungskörpers im Vergleich zur Schallwellenlänge klein sind, z.B. bei sinusförmigem Strom mit einer Frequenz bis zu einigen Kilohertz, so kann angenommen werden, daß die Schallquelle für die entstehenden Schweißlichtbogengeräusche theoretisch als Atmungskugel behandelt werden kann.

Die Form des Lichtbogens, d.h. die Form der Schallquelle sein nun als Kugel mit dem Radius a angenommen, ihre Oberfläche sei $u_e^{j\omega t}$, diese Schallquelle führe Vibration durch Zusammenziehung und Ausdehnung in radialer Richtung mit gleichförmiger Vibrationsgeschwindigkeit durch, und sie befinde sich auf einer starren Wand. Für dieses in Abb. 5 gezeigte Modell soll nun der wirksame Schalldruck P_e an einem Punkt in der Entfernung r erhalten werden. Hierbei ist $\omega (=2\pi f)$ die Winkelvibrationsfrequenz, t ist die Zeit, und j ist die Wurzel aus -1 . Die Schallquelle kann als Kugelform angenommen werden, da sich a aus der Betrachtung der Fotografien bei I_b als etwa 2 mm und bei I_p als etwa 4 mm ergibt und im Vergleich zum Abstand zwischen Schallquelle und Meßpunkt ($r=120$ mm) ausreichend klein ist.

Es sei nun für das in Abb. 5 gezeigte Modell angenommen, daß keine starre Wand vorhanden ist. Der Schalldruck $P(r, t)$ und die Partikelgeschwindigkeit

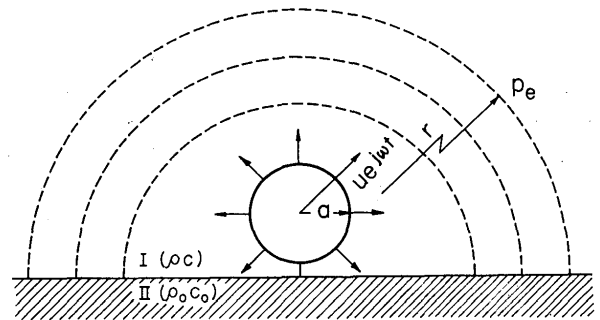


Abb. 5 Modell von Schallquelle.

$u(r, t)$ im Abstand r bei einer frei im Raum existierenden Schallquelle werden durch die folgenden Formeln ausgedrückt.²⁾

$$P(r, t) = (1/r) P_i e^{j(\omega t - kr)} \quad (1)$$

$$u(r, t) = (P_i / \rho c r) (1 + 1/jkr) e^{j(\omega t + kr)} \quad (2)$$

Hierbei ist ρ die Mediumdichte, c ist die Schallgeschwindigkeit, $k (= \omega/c = 2\pi f/c)$ ist die Wellenlängenkonzte, und P_i ist die Schalldruckamplitude.

Unter der Bedingung, daß a im Vergleich zur Wellenlänge klein ist ($ka \ll 1$), gilt:

$$u(a, t) = (P_i / \rho c a) (1/jka) e^{j(\omega t - ka)} \quad (2')$$

(Für $a=4$ mm gilt $ka=0.74$ rad bei $f(=f_p)=10$ kHz, und im Bereich dieser Versuche bis zu $f_p=3$ kHz wird $ka \ll 1$ ausreichend erreicht.)

Für u_a als wirksame Partikelgeschwindigkeit bei a und $4\pi a^2 u_a = U_o$ (Volumengeschwindigkeit) gilt:

$$\begin{aligned} u_a &= P_i / \sqrt{2} \rho c k a^2 = P_i / (2\sqrt{2} \pi f a^2 \rho) \\ P_i &= (U_o \rho c k) / (2\sqrt{2} \pi) = U_o f \rho / \sqrt{2} \\ P(r, t) &= (1/r) (U_o f \rho / \sqrt{2}) e^{j(\omega t - kr)} \end{aligned} \quad (3)$$

Für $r \gg a$ wird der wirksame Schalldruck im Abstand r zu

$$P_e = (1/2r) U_o f \rho \quad (4)$$

Anschließend soll nun der Fall betrachtet werden, wenn sich die Schallquelle auf einer weiten, starren Wand befindet.

In diesem Fall wird der Schall theoretisch als ungerichtete halbe Kugelwelle ausgestrahlt, und der Schalldruck wird das doppelte des Schalldrucks ohne starre Wand (eine Erhöhung des Schalldruckpegels um 6 dB). Da bei diesen Versuchen der Schweißlichtbogen auf einer wassergekühlten Kupferplatte mit vergleichsweise großer Fläche (Radius 110 mm) erzeugt wird und die Schallimpedanz für Medium I (Luft) und Medium II (Kupferplatte) $\rho c \ll \rho_o c_o$ ist, wird die obige Theorie als anwendbar angesehen. Als Ergebnis der Untersuchung des Einflusses der wassergekühlten Kupfer-

platte auf die Richtwirkung und den Schalldruckpegel des Schweißlichtbogengeräusches wurde wie in **Abb. 6** gezeigt bestätigt, daß die Lautstärke nicht von der Meßrichtung abhängt, und daß wie in **Abb. 7** gezeigt der Schalldruckpegel im Vergleich zum Fall ohne wassergekühlte Kupferplatte (in diesem Fall wurde auf gleiche Weise wie für den Fall der wassergekühlten Kupferplatte ein 5 mm langer Schweißlichtbogen an der Stirnfläche eines Wolframstabs mit einem Durchmesser von 4 mm erzeugt) um etwa 6 dB ansteigt.

Dementsprechend wird der Schalldruck im Falle einer starren Wand zu

$$P_e = (1/r)U_o f \rho \tag{4'}$$

Da r und ρ in der Formel (4') Konstanten sind, wird P_e schließlich durch U_o und f bestimmt.

U_o ist proportional zu u_a , und u_a ist direkt proportional zu P_i und umgekehrt proportional zu f (siehe Formel 3). P_i ist proportional zur Stromamplitude τ_p , was experimentell bestätigt worden ist,¹⁾ und bei sinusförmigem Strom ist f gleich f_p .

Dementsprechend entspricht die Formel (4') qualitativ der experimentellen Formel $P_e \propto f_p^m \cdot \tau_p^n$ in Bezug auf P_e , f_p und τ_p .

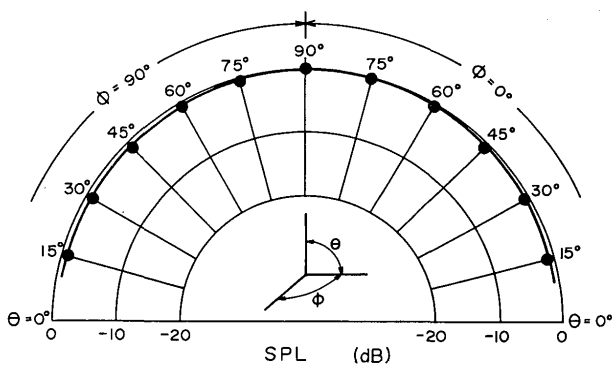


Abb. 6 Untersuchungsergebnis über Richtwirkung.

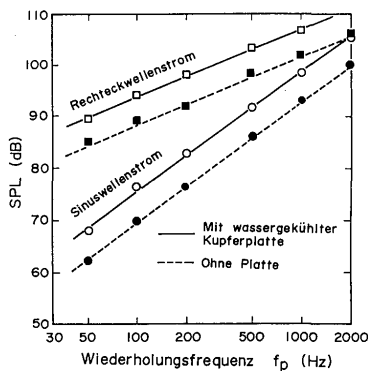


Abb. 7 Effekt zur Schalldruckpegel, der wassergekühlte Kupferplatte einwirkt.

Wenn Formel (4') durch den Schalldruckpegel SPU ($= 20 \log_{10} P_e/P_{e0} = 2 \times 10^{-4} \mu\text{bar} = 2 \times 10^{-5} P_a$) ausgedrückt wird, so wird die folgende Formel erhalten.

$$\text{SPL} = 20 \log_{10} U_o + 20 \log_{10} f + 114 \text{ dB} \tag{5}$$

(für $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ und $r = 0.12 \text{ m}$)

Dementsprechend kann der Schalldruckpegel bei Annahme der Schallquelle als Atmungskugel unter Verwendung von Formel (5) berechnet werden. In diesem Fall ist f gleich f_p , wie schon oben angegeben, und in Bezug auf U_o (bzw. u_a) kann P_e aus den Meßwerten für den Schalldruckpegel erhalten werden, so daß U_o für jede Frequenz aus Formel (4) erhalten werden kann.

Abbildung 8 zeigt die Rechnungsergebnisse und die Meßergebnisse für den Schalldruckpegel. Diese Ergebnisse zeigen im Versuchsbereich für die Elektrodendurchmesser von 2.6, 3.2 und 4 mm ϕ (Spitzenwinkel: 90°) gute Übereinstimmung. Diese Tatsache zeigt, daß bei sinusförmigem Strom die Schallquelle des Schweißlichtbogengeräusches als Atmungskugel behandelt werden kann.

Formel (5) zeigt für den Fall, daß die Abmessungen der Schallquelle im Vergleich zur Wellenlänge ausreichend klein ist, daß sich der Schalldruckpegel unabhängig von Form und Größe der Schallquelle nicht ändert, wenn die Volumengeschwindigkeit gleich ist. Hieraus wird angenommen, daß die Meßergebnisse für den Schalldruckpegel wie in **Abb. 8** gezeigt unabhängig von den verschiedenen Elektrodendurchmessern in etwa gleich sind, weil die Volumengeschwindigkeit des Schweißlichtbogenschalls nicht stark von der Größe des Elektrodendurchmessers abhängt.

Andererseits sind bei anderen Stromwellenformen, besonders bei Rechteckwellenstrom und Sägezahnwellenstrom, die Frequenzspektrumkomponenten des Schweißlichtbogengeräusches nicht einfach, die hervorragende Frequenz stimmt nicht mit f_p überein¹⁾, und

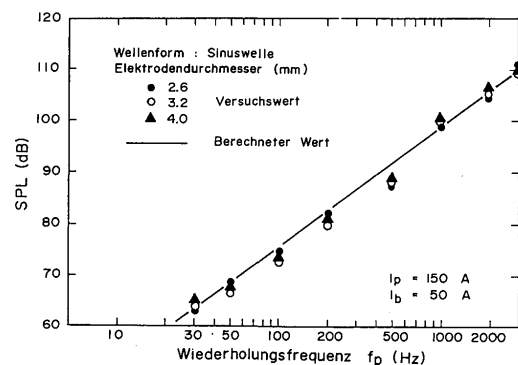


Abb. 8 Vergleichung zwischen Rechnungsergebnis und Meßergebnis zum Schalldruckpegel.

aus diesen und anderen Gründen kann die Formel (5) so wie sie ist nicht zur Berechnung des Schalldruckpegels verwendet werden. Da jedoch auch für diese Wellenformen ein fester Zusammenhang zwischen Schalldruckpegel, f_p und τ_p besteht,¹⁾ kann Formel (5) zum Erhalten des Schalldruckpegels verwendet werden, wenn der Energiezuwachs durch den Anstiegsgeschwindigkeitseffekt^{3),4)} der Wellenform zur Gleichung (5) zugefügt wird.

4. Zusammenfassung

Der Zusammenhang zwischen der Ausgangsstromwellenform und der Form des Schweißlichtbogens wurde für den Schweißlichtbogen beim Wolframschutzgasschweißen untersucht. Als Ergebnis wurde vorgeschlagen, daß die Schallquelle des Schweißlichtbogengeräusches als sogenannte Atmungskugel durch Zusammenziehungs- und Ausdehnungsvibrationen des Schweißlichtbogens anzusehen sei. Die erhaltenen Schlußfolgerungen können wie folgt umrissen werden.

- 1) Der Schweißlichtbogen zeigt beim Basisstrom die größte Zusammenziehung und beim Spitzenstrom die größte Ausdehnung in der Form. Diese Formänderung stimmt phasenmäßig und frequenzmäßig mit der Änderung der Stromwellenform überein.
- 2) Das zeitliche Verhalten des Schweißlichtbogens wird durch die Änderung S/S_{max} der von der Kurve der

Punkte gleicher Dichte für das Schweißlichtbogenbild beurteilt, und es wird gezeigt, daß die Änderung von S/S_{max} der Änderung der Stromwellenform ähnelt, d.h. daß das Verhalten des Schweißlichtbogens stromwellenförmig ist.

- 3) Es wird vorgeschlagen, das bei pulsierendem Strom erzeugte Schweißlichtbogengeräusch als Atmungsgeräusch zu behandeln.

Danksagung

Die Autoren danken Professor Dr. Matsuda und Extraordinarius Dr. Ushio von ganzem Herzen für ihre Hilfe in Bezug auf die Hochgeschwindigkeitsfotografie.

Bezugsliteratur

- 1) Y. Arata, K. Inoue, M. Futamata und T. Toh: Untersuchung des Schweißlichtbogengeräusches (Bericht 3), Trans. of JWRI, Band 9 (1980), Nr. 2, 25-30.
- 2) J. Igarashi: Schall und Vibration, 26, Kyoritsu Shuppan (in Japanisch).
- 3) S. Namba, S. Kuwano und T. Katoh: In Bezug auf die Anstiegszeit und die Größe von Schall, Zeitschrift der japanischen Gesellschaft für Schall, Band 30 (1974), Nr 3, 144-150. (in Japanisch).
- 4) K. Hiramatsu, K. Takagi und T. Yamamoto: Effekt der Anstiegsgeschwindigkeit auf die Belästigung durch Lärm, Zeitschrift der japanischen Gesellschaft für Schall, Band 33 (1976), Nr. 1, 23-28. (in Japanisch.)