



Title	Wellenformsteuerungsmethode im CO ₂ -Schweißen(Physics, Process, Instrument & Measurement)
Author(s)	Matsuda, Fukuhisa; Ushio, Masao; Mita, Tsuneo
Citation	Transactions of JWRI. 1988, 17(2), p. 291-297
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/4956
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Wellenformsteuerungsmethode im CO₂-Schweißen[†]

Fukuhisa MATSUDA*, Masao USHIO** und Tsuneo MITA***

Auszug

Die Wechselrichtergesteuerte CO₂-Schweißvorrichtung wurde entwickelt, die einen Mikrocomputer zur Steuerung der Strom- und Spannungswellenformen enthält.

Die Strom- und Spannungswerte können in jedem Zeitpunkt während der Kurzschluß- und/oder Lichtbogendauer beliebig geändert werden.

Zum Zweck der Wellenformsteuerung wird die Zeit, die Kurzschluß- und Lichtbogendauer enthält, in 6 Stufen unterteilt; ferner werden 14 Wellenformfaktoren, die sich auf Strom, Spannung und Zeit beziehen, gewählt.

Die Wellenformfaktoren, die sich auf das Tropferverhalten in der Anfangsphase während der Kurzschluß, und in der späteren Phase während der Lichtbogendauer beziehen, hatten erheblichen Einfluß auf festhaftenden Spritzer beim CO₂-Schweißen.

Mit Hilfe der neuen Wellenformsteuerungsmethode konnte Spritzer im CO₂-Schweißen reduziert werden. Im Vergleich zur herkömmlichen Methode mit Thyristorgesteuerter Stromquelle hat sich die haftende Spritzermenge an der Düse und am Grundmaterial auf 1/5 beziehungsweise 1/50 reduziert.

KEY WORDS : (CO₂ Gas Shielded Arc Welding) (Spatter) (Inverter Controlled Welder) (Current Control) (Voltage Control) (Micro-Computer)

1. Einleitung

Mit der wechslrichtergesteuerten Stromquelle, die in der letzten Zeit große Verbreitung gefunden hat, kann man die Leistung ca. 150-mal so schnell wie bei thyristorgesteuerter Stromquelle steuern¹⁾. Für die Stromquelle für CO₂-Schweißen wird die Steuerung der Veränderung des Ausgangsstroms (di/dt) unter Benutzung der Hochgeschwindigkeitssteuerung der wechslrichtergesteuerten Stromquelle verwendet, um die bisherige Wirkung des Magnetverstärkers in der elektronischen Schaltung zu realisieren. Im Gegensatz zum thyristorgesteuerten Magnetverstärker kann bei dieser Methode die Reaktanz in einer elektronischen Schaltung eingestellt werden, so daß für jeden Stromwert oder für jeweils Kurzschlußdauer und Lichtbogendauer optimale Reaktanz eingestellt werden kann, wodurch das Schweißverhalten verbessert werden kann: z.B. das Anlaufverhalten des Lichtbogens wird verbessert, und Spritzenhaftung wird reduziert²⁾.

Aber, diese Methode ist eine Leistungssteuerungsmethode, die auf der Wirkung des Magnetverstärkers beruht; sie ist für die Verbesserung des Schweißverhaltens nicht ausreichend. Die wechslrichtergesteuerte Stromquelle besitzt Steuerfähigkeit, die auch kompliziertere

Leistungssteuerungen ausführen kann.

In der vorliegenden Arbeit wurde eine wechslrichtergesteuerte Stromquelle, bei der die Ausgangsleistung mit einem Mikrocomputer gesteuert wird, entwickelt, und anhand dieser Stromquelle wurde eine Steuerungsmethode für Schweißstrom und -spannung untersucht, die zur Reduzierung von Spritzern dienen soll.

2. Wellenformsteuerungsmethode im CO₂-Schweißen

2.1 Stromquelle mit Wellenformsteuerung durch Mikrocomputer

Abbildung 1 zeigt den Aufbau der Schweißstromquelle, die aus einer wechslrichtergesteuerten Stromquelle, die die Ausgangsleistung mit hoher Geschwindigkeit steuern kann, und einem Mikrocomputer besteht. Bei dieser Schweißstromquelle können Ausgangsstrom und -spannung beliebig geändert und eingestellt werden.

Durch Unterbrechungssignal vom Zeitgeber iRQ1, Verzögerungszeitgebersignal iRQ2, Kurzschluß/Lichtbogen-Beurteilungssignal iRQ3 und der Strom- und Spannungsslopeschaltung, die jeweils aus CR-Integralschaltung mit veränderlicher Zeitkonstante besteht, können die

[†] Received on October 31, 1988

* Professor

** Außerordentlicher Professor

*** Hitachi Seiko Ltd.

Transactions of JWRI is published by Welding Research Institute of Osaka University, Ibaraki, Osaka 567, Japan

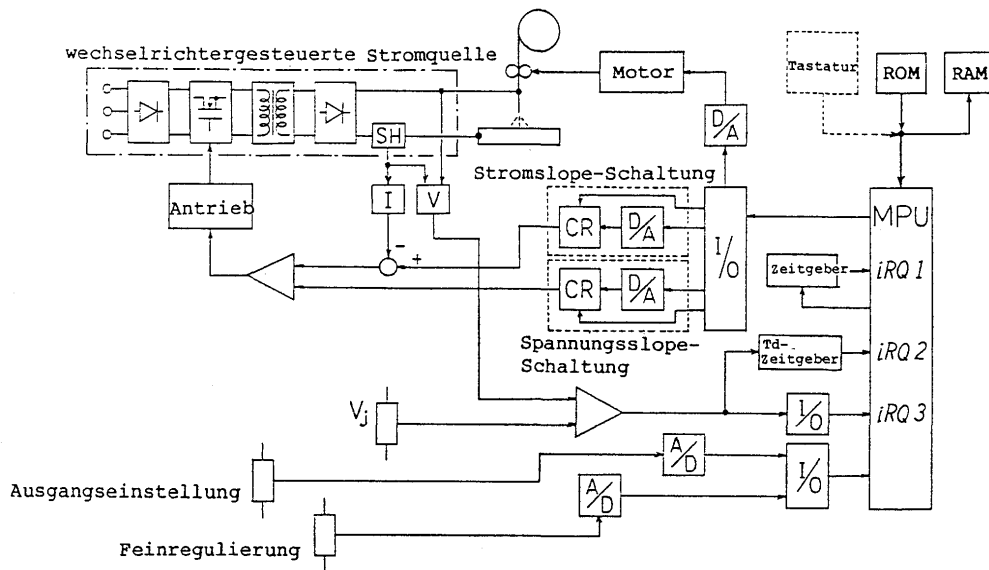


Abb. 1 Aufbau der wechselrichtergesteuerten Schweißvorrichtung mit integriertem Mikrocomputer zur Steuerung der Wellenformen

Strom- und Spannungseinstellwerte unabhängig voneinander zu beliebigen Zeitpunkten während des Schweißens und mit beliebiger Geschwindigkeit geändert eingestellt werden.

Wenn die Impulsbreite des Wechselrichters, die vom Stromeinstellwert bestimmt wird, und die Impulsbreite des Wechselrichters, die vom Spannungseinstellwert bestimmt wird, unterschiedlich sind, so wird die kleinere Impulsbreite gewählt und als Steuersignal für Ausgangsleistung in die Antriebsschaltung des Wechselrichters eingegeben.

Auf diese Weise ändert sich die äußere Charakteristik der Stromquelle entsprechend dem Leistungssteuerungsprogramm in jedem Augenblick, und abhängig vom Lichtbogenverhalten in den jeweiligen Augenblicken wird der Arbeitspunkt des Lichtbogens bestimmt.

Das Leistungssteuerungsprogramm und die Leistungseinstellungsdaten sind in ROM gespeichert, aber da in der vorliegenden Arbeit Experimente mit unterschiedlichen Leistungseinstellungsdaten durchgeführt wurden, haben wir das System dahingehend modifiziert, daß beliebige Leistungsdaten durch Tastatur beliebig eingegeben werden können.

2.2 Wellenformsteuerungsmethode

Abbildung 2 zeigt die Wellenformsteuerungsmethode, die für die vorliegende Untersuchung verwendet wurde.

Durch ein Vergleich der Ausgangsspannunggröße mit der Kurzschlußbeurteilungsspannung, V_j wird festgestellt, ob es sich um Kurzschluß oder um Lichtbogen handelt. Ist der Kurzschluß eingetreten, so wird der Strom

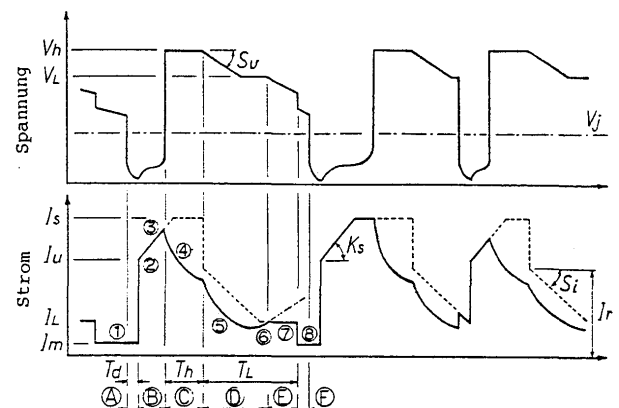


Abb. 2 Wellenformsteuerung beim CO₂-Schweißen

während des Zeitraums T_d konstant gehalten, um abzuwarten, daß die Tropfen und das Schmelzbad sicher kurzgeschlossen werden. (A)

Danach wird der Strom schnell bis I_u erhöht, und dann von I_u mit der Neigung K_s allmählich reduziert, damit der Kurzschlußstrom auf Minimum reduziert werden kann. Da sich der Kurzschlußstrom, der für die Auslösung des Kurzschlusses erforderlich ist, ist, unter dem Einfluß der Änderung der Drahtvorschubgeschwindigkeit, der Vibration des Schmelzbades usw. ständig ändert, würde sehr großer Kurzschlußstrom erforderlich werden, wenn keine Neigung vorgesehen würde. (B)

Wenn nach dem Auslösen des Kurzschlusses Lichtbogen entsteht, wird die Spannung bei der Ausgangsspannung V_h konstant gehalten. Der Schweißstrom wird durch V_h bestimmt, und die Tropfen wachsen während dieser Phase. (C)

Ablauf der Zeit T_h , nachdem der Lichtbogen entstanden ist, wird die Spannung von V_h mit der Neigung S_v bis V_L reduziert, und gleichzeitig wird der Strombegrenzer von I_r mit der Neigung S_i bis I_L reduziert. Falls kurzzeitiger Kurzschluß entsteht, der durch Vibration der Tropfen oder des Schmelzbades o.ä. verursacht wird, verhindert der Strombegrenzer die Erhöhung des Stroms und minimiert somit die Störung des Kurzschlußzyklus. (⑩)

In der letzten Hälfte der Lichtbogendauer wird der Lichtbogen kürzer, so daß der Schweißstrom aufgrund der Konstantspannungscharakteristik zunimmt (in der Abb. mit der Zweipunktkettenlinie gezeigt), jedoch wird der Schweißstrom durch den Strombegrenzer auf I_L gehalten. (⑪)

Wenn der Kurzschluß nach Ablauf von $(T_h + T_L)$, nachdem der Lichtbogen entstanden ist, nicht entritet, so wird der Strom bis I_m reduziert, um das Drahtschmelzen zu reduzieren, und den Kurzschluß zu fördern. (⑫)

Auch wenn zum Auslösen des Kurzschlusses großer Strom erforderlich wird, wird der max. Stromwert auf I_s begrenzt. (⑬)

Falls während der Zeitdauer T_L Kurzschluß entsteht, wird die Erhöhung des Stromes nach Eintreten des Kurzschlusses während der Zeit T_d verhindert, und nach Ablauf der Zeit T_d erfolgt der Vorgang ab ⑪. (⑭)

Falls der Kurzschluß vor Ablauf der Zeit T_d ausgelöst worden ist, so wird nicht auf den Vorgang ⑪ übergegangen, sondern der bisherige Vorgang wird fortgesetzt.

3. Untersuchung der Reduzierung von Spritzern

3.1 Einfluß der Wellenformfaktoren auf die Spritzermenge

Um den Einfluß der in der Abb. 2 gezeigten Wellenformfaktoren auf die anfallende Spritzermenge zu untersuchen, wurden die Standardwerte der Wellenformfaktoren gemäß **Tabelle 1** festgelegt, und CO_2 -Schweißen wurde durchgeführt, bei dem die einzelnen Faktoren einzeln variiert wurden.

Es wurde der Draht JIS YGW11 verwendet, Drahtvorschubgeschwindigkeit betrug 7,5 m/min, vorstehende Länge des Drahts zwischen Düse und Schweißbad 15 mm und die Schweißgeschwindigkeit 500 mm/min. Die Werte waren jeweils konstant. Mit diesem Draht wurde auf eine 6 mm-dicke Weichstahlplatte Flachraupen hergestellt, und das Gewicht der dabei entstandenen Spritzer am Grundmaterial und an der Düse wurde bestimmt. Dabei wurde das Schweißen auf die Mitte eines Probestücks von 100 mm x 300 mm ausgeführt, und die Spritzer, die auf diesem Probestück haftete, als die Spritzer, am Grundmaterial angesehen.

Tabelle 1 Standardwerte der Wellenformfaktoren

Zeitfaktoren	Stromfaktoren	Spannungsfaktoren
$T_d = 3,5 \text{ ms}$	$I_u = 305 \text{ A}$	$V_h = 34 \text{ V}$
$T_h = 10 \text{ ms}$	$I_s = 550 \text{ A}$	$V_L = 25 \text{ V}$
$T_L = \text{Unlimited}$	$I_r = 365 \text{ A}$	
15 ms^*	$I_L = 145 \text{ A}$	$V_j = 15 \text{ V}$
$K_s = 8 \text{ A/ms}$	$I_m = 100 \text{ A}^*$	
$S_c = 7 \text{ A/ms}$	Drahtvorschubgeschwindigkeit : 7,5 m/min.	
$S_v = 1 \text{ V/ms}$	Schweißgeschwindigkeit : 500 mm/min.	
Schweißvariablen	Draht : JIS YGW11 ($\phi 1,2 \text{ mm}$, Ext. 15 mm)	
	Schutzgas : CO_2 , 15 l/min	

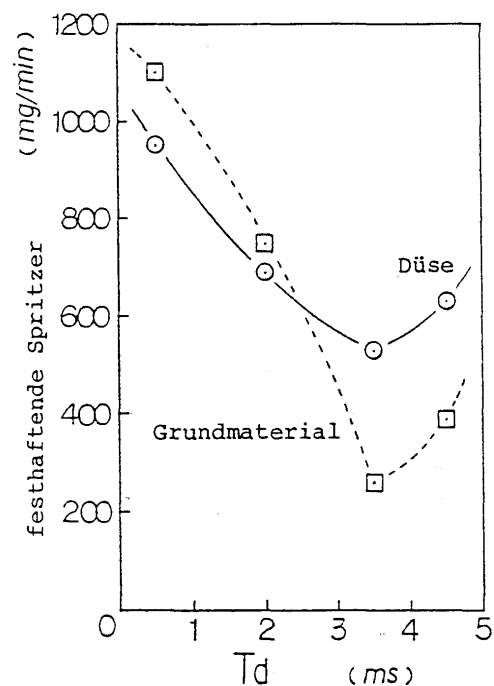


Abb. 3 Wirkung des Zeitfaktors T_d auf haftende Spritzer

(1) Einfluß von T_d

Abbildung 3 zeigt die Beziehung zwischen T_d und der Spritzermenge.

Die haftende spritzermenge sowohl an der Düse als auch am Grundmaterial nimmt mit der Zunahme von T_d ab. Aber, wenn T_d 4,5 ms erreicht, so nimmt die Spritzermenge zu. Wenn T_d zu lange dauert, so sinkt die Temperatur des Schmelzbades und der Tropfen, so daß für die Auslösung des Kurzschlusses großer Strom erforderlich wird, und der Lichtbogen wird dann instabiler. In extremen Fällen kann auch Lichtbogenunterbrechung vorkommen, und damit kann der Spritzeranfall zunehmen.

(2) *Einfluß von TL*

Abbildung 4 zeigt die Beziehung zwischen TL und der Spritzermenge.

Die Spritzermenge an der Düse nimmt mit der Zunahme von TL zu, aber die Spritzermenge am Grundmaterial ändert sich ab 30 ms fast nicht mehr. Haftmenge am Grundmaterial erreicht das Minimum bei 15 ms, und bei 5 ms wird der Kurzschlußzyklus ein wenig ungleichmäßig und die Spritzermenge nimmt geringfügig zu.

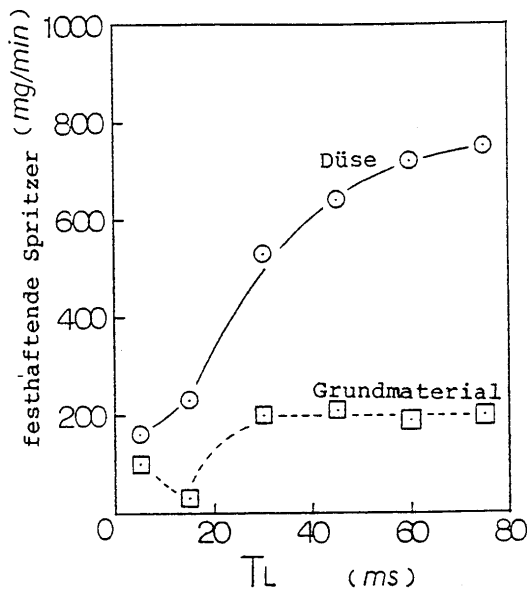


Abb. 4 Wirkung des Zeitfaktors TL auf haftende Spritzer

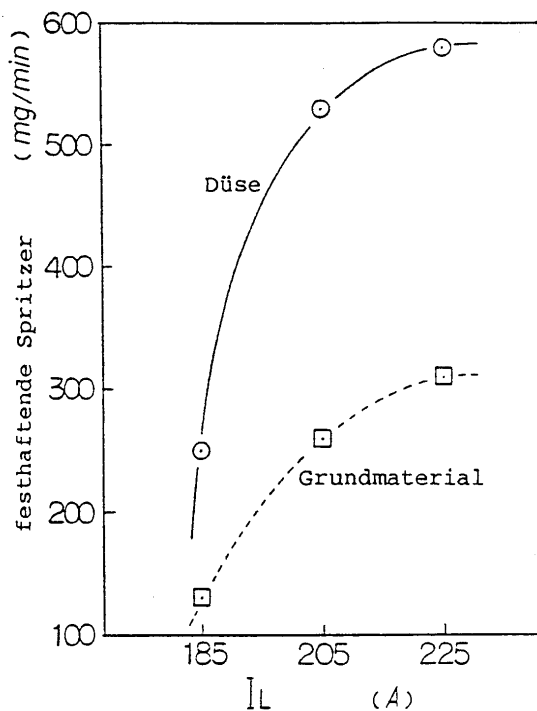


Abb. 5 Wirkung des Stromfaktors IL auf haftende Spritzer

(3) *Einfluß von IL*

Abbildung 5 zeigt die Beziehung zwischen IL und der Spritzermenge.

Mit Zunahme von IL nimmt die Spritzermenge sowohl an der Düse als auch am Grundmaterial zu. Dies bedeutet, daß der Strombegrenzer, der in der Zeitdauer TL vorgesehen ist, die Zunahme des Stroms infolge von momentanen Kurzschlüssen oder die Zunahme des Stroms infolge der Konstantspannungscharakteristik in der letzten Hälfte der Lichtbogendauer begrenzt, und somit zur Reduzierung von Spritzern dient.

(4) *Einfluß von VL*

Abbildung 6 zeigt die Beziehung zwischen VL und der Spritzermenge.

Mit Zunahme von VL nimmt die Spritzermenge zu, wobei jedoch die Zunahme der Spritzer am Grundmaterial niedriger als an der Düse ist.

Auch wenn VL erhöht wird, wird der Strom durch IL begrenzt, so daß die Tropfen nicht allzu groß werden, und die am Grundmaterial haftenden Spritzer nehmen nur geringfügig zu. Aber, da die Übergangsgeschwindigkeiten von V_h zu V_L unterschiedlich sind, nimmt die Störung

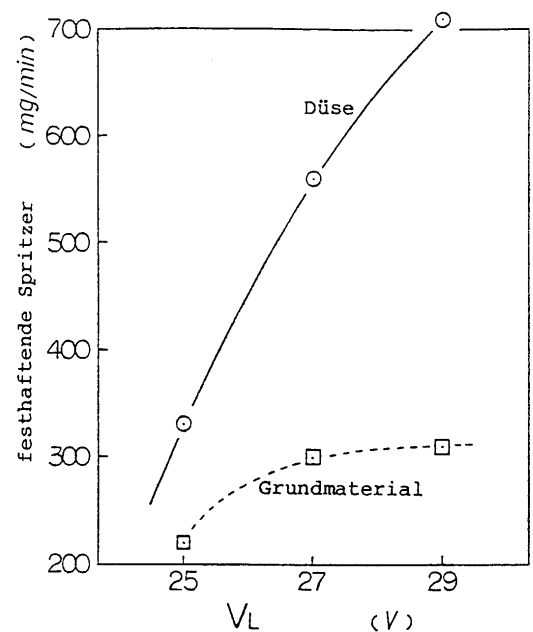


Abb. 6 Wirkung des Spannungsfaktors VL auf haftende Spritzer

des Kurzschlußzyklus bei Erhöhung von VL zu, und damit nimmt die Spritzermenge zu.

(5) *Einfluß von I_u*

Abbildung 7 zeigt die Beziehung zwischen I_u und der Spritzermenge.

Bisher wurde behauptet, daß der Kurzschlußspitzen-

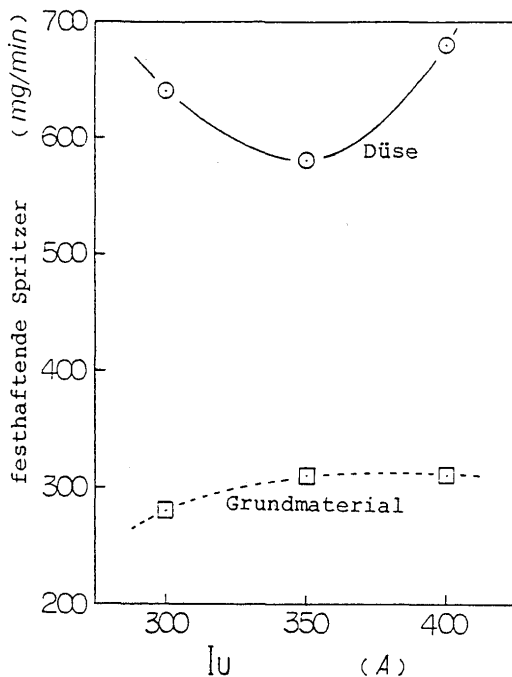


Abb. 7 Beziehung zwischen Stromfaktor I_u und festhaftenden Spritzern

strom die Spritzeranfallmenge stark beeinflusse³⁾. Bei der vorliegenden Wellenformsteuerungsmethode entspricht I_u ungefähr diesem Kurzschlußspitzenstrom, aber die Änderung von I_u übt keinen wesentlichen Einfluß auf die Spritzerhaftmenge aus. Wenn I_u groß ist, aber auch im Falle, daß I_u klein ist, wird der Kurzschlußstrom erhöht, da im letzteren Fall für das Auslösen des Kurzschlusses längere Zeit benötigt wird, und die Spritzerhaftmenge an der Düse nimmt zu. Aber der Ausmaß der Änderung ist im Vergleich zu anderen, obengenannten Faktoren geringer.

Jedoch nehmen die ungleichmäßigen, hervortretenden Stellen am Ende der Raupe, der sogenannte Grat, werden mit Zunahme von I_u größere und zahlreichere.

(6) Einfluß von I_m

Abbildung 8 zeigt die Beziehung zwischen I_m und der Spritzerhaftmenge. Bei normalen Schweißverfahren wurde $TL = \text{angenommen}$. Aber da in diesem Fall der Übergang zu I_m nicht erfolgen kann, wird hier $TL = 15$ ms angenommen.

Mit Änderung von I_m ändert sich die Spritzerhaftmenge nicht sehr stark. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, daß das Effekt der Einstellung von TL auf 15 ms groß ist.

(7) Einfluß von sonstigen Faktoren

Zwischen den nicht in den Abbildungen gezeigten Wellenformfaktoren Th , V_h , I_r , Si und S_v einerseits und der Spritzerhaftmenge andererseits konnte keiner deutlicher Zusammenhang festgestellt werden.

Th und V_h sind Faktoren, die die Tropfen bilden, und

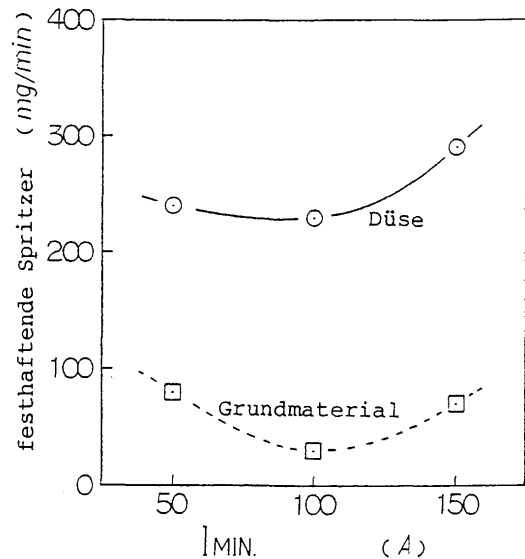


Abb. 8 Beziehung Zwischen Stromfaktor I_m und festhaftenden Spritzern

haben starken Einfluß auf die Stabilität von Lichtbogen, so daß ihre Einstellwerte nicht in einem größeren Bereich variiert werden können. Auch I_r , Si und S_v unterliegen Einschränkungen durch IL , V_h und VL , um die Konstantspannungs-characteristik auch während des Zeitabschnitts TL aufrechtzuerhalten, damit die Länge des Lichtbogens gesteuert werden kann. Daher können auch ihre Einstellwerte nicht so stark variiert werden.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß die Faktoren, die die Spritzerhaftmenge am stärksten beeinflussen, T_d , TL , IL und VL sind.

T_d ist ein Faktor, der die Kontaktsituation von Tropfen und Schmelzbad stark beeinflusst, während die Faktoren TL , IL und VL die Ausformung der Tropfen im Zusammenhang mit der Reduzierung der Lichtbogenkraft in der letzten Hälfte der Lichtbogendauer stark beeinflussen. Also, die Form der Tropfen während des und vor dem Kurzschluß beeinflusst die Spritzer sehr stark, daher kann dadurch, daß die Form der Tropfen und die Kontaktsituation von Tropfen und Schmelzbad unmittelbar vor dem Kurzschluß, die Spritzer sehr wirkungsvoll unterdrückt werden.

3.2 Schweißen mit reduziertem Spritzeranfall

Abbildungen 9 und 10 zeigen Beispiele von Schweißarbeiten, bei denen die Wellenformfaktoren so eingestellt wurden, daß das Anfallen von Spritzern unterdrückt wird.

Bei verschiedenen Drahtvorschubgeschwindigkeiten ist der Unterschied zwischen den Kurzschlußspitzenstromwerten bei Thyristorsteuerung und der Wellenformsteuerung nicht sehr groß. Aber bei Wellenformsteuerung

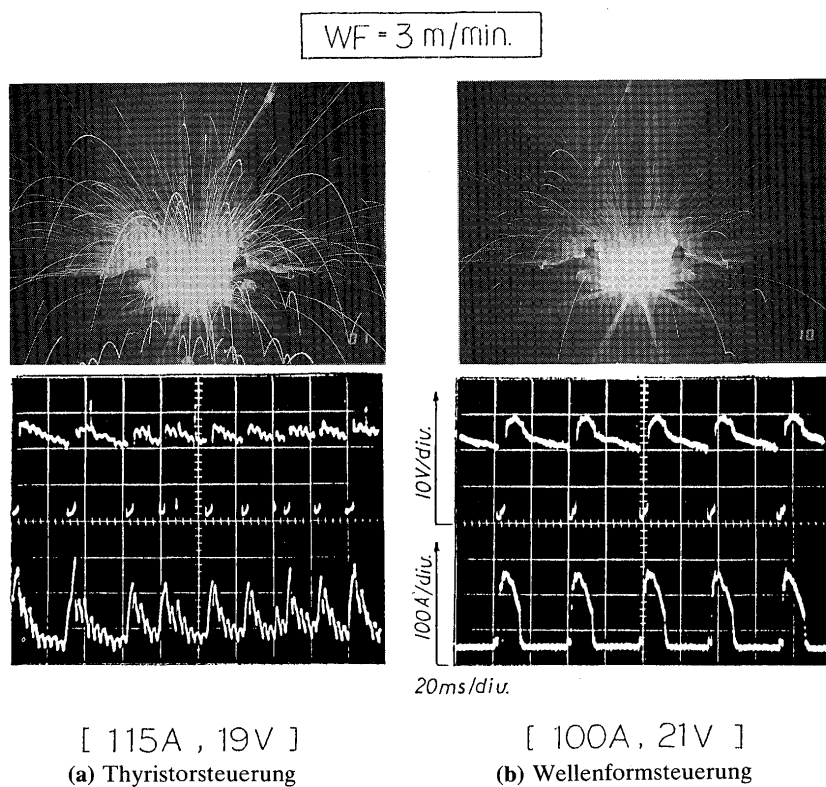


Abb. 9 Spritzeranfallsituation und die Strom und Spannungswellenformen
(Drahtvorschubgeschwindigkeit; 3m/min.)

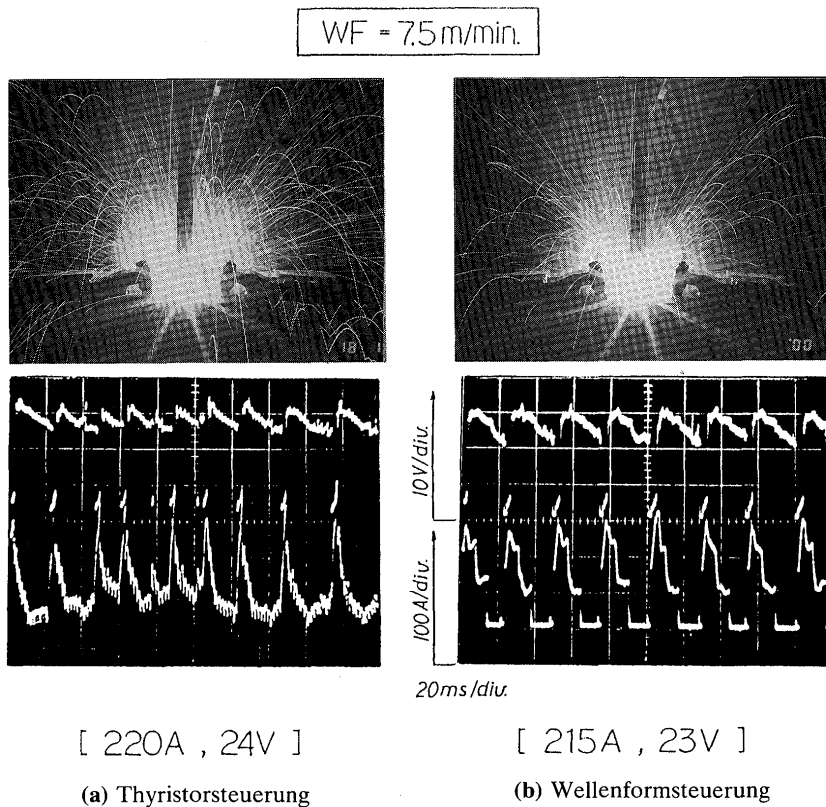


Abb. 10 Spritzeranfallsituation und die Strom und Spannungswellenformen
(Drahtvorschubgeschwindigkeit; 7.5m/min.)

ist der Kurzschlußzyklus sehr gleichmäßig, und die Schwankung des Kurzschlußspitzenstroms ist auch gering, so daß die Spritzeranfallmenge gering ist.

Tabelle 2 Vergleich von festhaftenden Spritzern

Drahtvorschub- geschwindigkeit (m/min.)	Haftende Stelle	Haftende Spritzer (g/min.)	
		Herkömmliche Methode	Neue methode
3	Düse	0.14	0.03
7.5	Düse	0.60	0.12
	Grundmaterial	2.05	0.04

Tabelle 2 zeigt das Maßergebnis der Spritzerhaftmengen an der Düse und am Grundmaterial. Die Haftmenge bei Wellenformsteuerung ist im Vergleich zu der Thyristorsteuerung auf ca. 1/5 bei Düse, und auf ca. 1/50 bei Grundmaterial reduziert.

4. Zusammenfassung

Eine Schweißstromquelle, bei der durch Steuerung der Ausgangsleistung der wechselrichtergesteuerten Stromquelle mit Hilfe eines Mikrocomputers beliebige Strom- und Spannungswellenformen erhalten werden können, wurde entwickelt, und mit Hilfe dieser Stromquelle wurde die Reduzierung von Spritzern beim CO₂-Schweißen untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind wie folgt:

- (1) Ein Kurzschlußzyklus wurde in 6 Stufen unterteilt: "Zeitabschnitt, in dem der Kurzschluß gleichmäßig gemacht wird", "Zeit zum Auslösen des Kurzschlusses", "Zeit zur Bildung von Tropfen", "Zeit zur Ausformung der Tropfen", "Zeitabschnitt zur Verhinderung von anomalem Wachstum der Tropfen" und

"Zeitabschnitt zur Förderung des Kurzschlusses". Ein CO₂-Schweißverfahren wurde entwickelt, bei dem die Schweißstrom und der Schweißspannung entsprechend den jeweiligen Zeitabschnitten gesteuert werden.

- (2) Schweißstrom- und Schweißspannungswellenfaktoren, die den Anfall von Spritzen stark beeinflussen, sind: die Kurzschlußanstiegverzögerungszeit T_d , der Stromwert I und der Spannungswert V in der letzten Hälfte der Lichtbogendauer und die Übergangszeit zum min. Strom I_m , T . Da der Faktor T_d die Kontaktsituation von Tropfen und Schmelzbad ist, und die Faktoren I , V , und T die Tropfenform in der letzten Hälfte der Lichtbogendauer bestimmen, kann man schlußfolgern, daß die Tropfenformen unmittelbar vor und nach dem Kurzschluß die Spritzeranfallmenge wesentlich beeinflussen.
- (3) Durch Einstellung der optimalen Schweißstrom- und Schweißspannungswellenformen konnte die Spritzeranfallmenge beim CO₂-Schweißen erheblich reduziert werden, und die Spritzerhaftmenge an der Düse wurde auf 1/5 und die am Grundmaterial wurde auf 1/50 gegenüber dem bisherigen Verfahren reduziert.

Literatur

- 1) Sakabe et al: Wechselrichtergesteuerte Lichtbogenschweißvorrichtung, Journal der Japanische Schweißgesellschaft Bd. 55 (1986) Nr. 7, S31-40. (in Japanisch)
- 2) Yamamoto et al: Eigenschaften des CO₂-Schweißens mit transistorgesteuerter Stromquelle, Zusammenfassung der Vorträge bei der Jap. Schweißgesellschaft Bd. 35 (1984), S224-285. (in Japanisch)
- 3) Ueguri et al: Anfall von Spritzern beim CO₂-Schweißen und Stromsteuerung, Ausschuß für die physikalische Untersuchung des Schweißlichtbogens, Material 83-538 (1983) (in Japanisch)