

Title	Rauchentwicklung beim CO <sub>2</sub> -Schutzgasschweißen(Physics, Processes, Instruments & Measurements)
Author(s)	Ushio, Masao; Suga, Tetsuo
Citation	Transactions of JWRI. 1999, 28(2), p. 1-8
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/11380">https://doi.org/10.18910/11380</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

# Rauchentwicklung beim CO<sub>2</sub>-Schutzgasschweißen†

Masao USHIO\* and Tetsuo SUGA\*\*

## Abstract

*Dieser Bericht behandelt den Einfluß der Schweißparameter und Drahtzusammensetzung auf die Rauchemissionsrate beim CO<sub>2</sub>-Lichtbogenschweißen. Die Rauchemission nahm zu, wenn der Schweißstrom und die Lichtbogenspannung vergrößert wurden, und ging zurück, wenn der Abstand zwischen Elektrodenspitze und Grundmetall vergrößert wurde. Bei Volldraht ergab die Verringerung des Kohlenstoffgehalts einen Rückgang der Rauchemissionsrate, während diese bei einer Verringerung des Gehalts an Mn, Si, Ti oder Al zunahm. Bei Fülldraht, insbesondere in der Drahtumhüllung und beim Schmiermittel, ermöglichte die Verringerung des Kohlenstoffgehalts eine drastische Senkung der Rauchentwicklung.*

**KEY WORDS:** (Rauchentwicklung) (CO<sub>2</sub>-Schutzgasschweißen) (Volldraht) (Fülldraht) (Schweißparameter) (Drahtzusammensetzung)

## 1. Vorwort

In den letzten Jahren hat die beim Lichtbogenschweißen auftretende Rauchentwicklung aus arbeitshygienischer Sicht ein starkes Interesse auf sich gezogen, und man ist konsequent um entsprechende Maßnahmen bemüht. Die Konzipierung besserer Maßnahmen gegen den Schweißrauch erfordert die Aufklärung des Phänomens der Rauchentwicklung, wozu umfangreiche Forschung betrieben wird, die sich vornehmlich auf das Lichtbogenschweißen mit umhüllter Elektrode konzentriert.<sup>1)</sup> Bezüglich des Rauchs beim CO<sub>2</sub>-Schutzgasschweißen dagegen liegt bislang praktisch nur die von Heile et al.<sup>2)</sup> und Kobayashi et al.<sup>3)</sup> geleistete Forschung vor, so daß hier in Bezug auf die Analyse der Rauchentwicklungstendenzen noch Raum für nähere Untersuchungen gegeben sein dürfte. Angesichts der heute wachsenden Anteils halbautomatischen Schweißens gewinnt die Untersuchung der Rauchentwicklung beim CO<sub>2</sub>-Schutzgasschweißen zunehmend an Bedeutung.

Dieser Bericht untersucht den Einfluß der Schweißparameter und der Drahtzusammensetzung auf die Rauchentwicklung beim CO<sub>2</sub>-Schutzgasschweißen mit Volldraht und Fülldraht. Weiterhin wurden anhand der Beobachtung des Lichtbogens mit einer Hochgeschwindigkeitskamera eine Reihe von Überlegungen zur Rauchentwicklung

angestellt.

## 2. Versuchsmethode

### 2.1 Meßmethode für die Rauchentwicklung

Zur Messung der auftretenden Rauchmenge wurde das Gesamtmenge-Sammelverfahren (JIS Z 3930) mit Benutzung eines großvolumigen Luftproben-Entnahmegerätes (Luftsampler) (1.5 m<sup>3</sup>/min) herangezogen. Wie die **Abbildung 1** zeigt, wurde in einem Luftsammelkasten (0.32 m<sup>3</sup>) mit feststehendem Schweißbrenner nach unten gerichtetes Raupenschweißen durchgeführt und die gesamte Menge des dabei auftretenden Rauchs in Filterpapier (aus Glasfasern) gesammelt, um die Rauchentwicklung (mg/min) zu ermitteln. Auf 1 Minute Lichtbogenbildung beträgt die Absaugzeit des großvolumigen Luftsamplers 3 Minuten. Die Zahl der Meßwertwiederholungen wurde auf 3 Mal angesetzt.

### 2.2 Verwendetes Material

Die chemischen Zusammensetzungen der in den Versuchen benutzten Voll- und Fülldrähte sind in den **Tabellen 1** (a) und (b) zusammengestellt. Zur Prüfung der Beeinflussung der Rauchmenge durch die Schweißparameter wurde Volldraht nach JIS Z 3312 YGW12 (1.2 mm ø) und YGW11 (1.6 mm ø) (siehe Tabelle 1(a)) und Fülldraht nach JIS Z 3313 YFW24 (1.6

† Received on November 29, 1999

\* Professor

\*\* Kobe Steel, Ltd., Welding Company

Transactions of JWRI is published by Joining and Welding Research Institute of Osaka University, Ibaraki, Osaka 567-0047, Japan.

## Rauchentwicklung beim CO<sub>2</sub>-Schutzgasschweißen

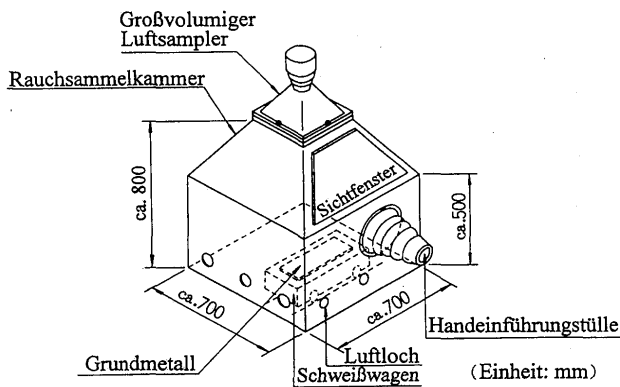


Abb. 1 Schweißrauch-Meßanlage

mm  $\phi$ ) (siehe Tabelle 1(b)) benutzt.

Weiterhin diente für die Untersuchung des Einflusses der Drahtzusammensetzung bei Voll Draht der Draht Nr. 4 (1.2 mm  $\phi$ ) aus Tabelle 1(a) als Ausgangsdraht, von dem für die Versuche insgesamt 14 Varianten mit geänderten Komponenten C, Mn, Si, Ti und Al hergestellt wurden (Nr. 3 - 16 in Tabelle 1(a)). Als Fülldraht wurden für die Versuche die in Tabelle 1(b) aufgeführten 12 Varianten eines Fülldrahtes (1.6 mm  $\phi$ ) erstellt. Dazu wurden die Gehalte an TiO<sub>2</sub>, Fe-Si, Fe-Mn, Eisenpulver, CaF<sub>2</sub> und Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> im Flußmittel des Ausgangsdrahtes Nr. 1 von Tabelle 1(b) dreistufig variiert.

Als nächstes wurden, wie im weiteren (Abschnitt 2.3.2) noch näher ausgeführt, wegen des großen Einflusses des Kohlenstoffgehalts auf die Fülldraht-Rauchentwicklung zur Messung dieses Einflusses nach dem die C-Menge zuführenden Umhüllungsmetall, Schmiermittel und Flußmittel getrennt sieben Drahtvarianten (enthalten C-Menge im Bereich von 0,01 - 0,08 %) eines Ausgangsdrahtes (1.6 mm  $\phi$ ) nach JIS YFW24 (entspricht Nr. 1 in Tabelle 1(b)) hergestellt und zur Prüfung herangezogen.

Als Versuchsplatte diente ein 12 mm<sup>t</sup> großes Stück SM41B.

### 2.3 Bei den Schweißparametern wurden die

Bei den Schweißparametern wurden die in Tabelle 2 genannten Standardparameter als Ausgangsbasis benutzt, wobei der Schweißstrom im Bereich von 120 - 350 A, die Lichtbogenspannung von 19 - 36 V, die Schutzgaszusammensetzung (Ar/CO<sub>2</sub>) von 0/100 bis 80/20, der Abstand Spitze - Grundmaterial von 10 - 35 mm und der Brennerwinkel von 0 - 30° variiert wurde. Bei der Untersuchung wurden die Bedingungen abgesehen vom jeweils näher geprüften Parameter auf den in Tabelle 2 angegebenen Werten konstant gehalten. Weiterhin wurden die in Tabelle genannten Parameter auch bei der

Untersuchung des Einflusses der Drahtzusammensetzung auf die Menge der Rauchentwicklung verwendet.

Für die Schweißanlage wurde eine Gleichstromquelle mit horizontaler statischer Charakteristik (350 A) verwendet.

### 2.4 Beobachtungsmethode für Lichtbogen-Phänomen

Zur Aufklärung des Phänomens der Rauchentwicklung wurden mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera der

Tabelle 1 Chemische Zusammensetzung der Versuchsdrähte (%)

(a) Voll Draht\*)

Nr.	C	Mn	Si	Ti	Al
1	0.07	1.38	0.82	—	—
2	0.08	1.63	0.80	0.15	0.03
3	<u>0.04</u>	1.51	0.90	—	—
4	<u>0.08</u>	<u>1.56</u>	<u>0.92</u>	—	—
5	<u>0.16</u>	1.54	0.95	—	—
6	<u>0.24</u>	1.51	0.90	—	—
7	0.09	<u>1.28</u>	0.94	—	—
8	0.08	<u>1.84</u>	0.94	—	—
9	0.09	1.55	<u>0.65</u>	—	—
10	0.09	1.61	<u>1.19</u>	—	—
11	0.08	1.60	0.97	<u>0.02</u>	—
12	0.08	1.60	0.96	<u>0.16</u>	—
13	0.07	1.60	0.97	<u>0.32</u>	—
14	0.08	1.56	0.92	—	<u>0.02</u>
15	0.08	1.52	0.91	—	<u>0.16</u>
16	0.09	1.59	0.96	—	<u>0.32</u>

\*) Nr. 1: JIS Z 3312 YGW 12, Handelsüblicher Draht  
Nr. 2: JIS Z 3312 YGW 11, Handelsüblicher Draht

(b) Füll Draht\*\*)

Nr.	Flußmittelgehalt (%)						
	TiO <sub>2</sub>	Fe-Si	Fe-Mn	Eisenpulver	CaF <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sonstige
1	<u>40</u>	<u>8</u>	<u>20</u>	<u>20</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	11
2	<u>30</u>	''	''	30	''	''	''
3	<u>20</u>	''	''	40	''	''	''
4	40	<u>1</u>	''	27	''	''	''
5	''	<u>15</u>	''	13	''	''	''
6	''	8	<u>10</u>	30	''	''	''
7	''	''	<u>30</u>	10	''	''	''
8	45	9	<u>22.5</u>	<u>10</u>	''	1.1	12.4
9	35	7	17.5	<u>30</u>	''	0.9	9.6
10	40	8	20	15	<u>5</u>	1	11
11	''	''	''	10	<u>10</u>	''	''
12	''	''	''	16	0	<u>5</u>	''
13	''	''	''	11	''	<u>10</u>	''

\*\*\*) Drahtquerschnittsform: Vorspringend  
Flußmittelanteil am Draht: 15 %

Tabelle 2 Schweißparameter (Standard)

Parameter	Werte	
	Volldraht	Fülldraht
Schweißstrom (A)	150	300
Bogenspannung (V)	21	32
Schweißgeschwindigkeit (cm/min.)	30	30
CO <sub>2</sub> Flußmenge (l/min.)	20	20
Spitze/Grundmetall-Abstand (mm)	17	17
Brennerwinkel (grad)	0 (Vertikal)	0 (Vertikal)
Elektrodenpolarität	Elektrode Positiv	Electrode Positive

in Nähe des Schweißbogens bestehende Zustand der Rauchbildung und des Tropfenübergangsphänomens beobachtet. Dabei lagen die bereits beschriebenen Aufnahmebedingungen<sup>1),4)</sup> vor.

Wie im weiteren noch näher ausgeführt (Abschnitt 2.3.1), zählt zu den Faktoren, die bei Benutzung von Volldraht die Rauchentwicklung bestimmen, auch die Anzahl der Kurzschlüsse, die mit einem im eigenen Hause hergestellten Kurzschluß-Meßgerät<sup>5)</sup> gemessen wurde.

### 3. Versuchs- und Beobachtungsergebnisse

#### 3.1 Umstände der Rauchentwicklung

Die Verfasser<sup>1)</sup> untersuchten den Mechanismus der Rauchbildung beim Lichtbogenschweißen mit umhüllter Elektrode durch vorausgehende Beobachtung des Rauchbildungsphänomens mit einer Hochgeschwindigkeitskamera und die Verfolgung der Quellen der Rauchbildung in einem Tracer-Verfahren. Diese Untersuchung ließ erkennen, daß der Rauch hauptsächlich aus Festpartikeln besteht, die entstehen, wenn heißer Dampf aus dem an der Elektrodenspitze gebildeten Lichtbogen zusammen mit Blasen des Lichtbogens an die Atmosphäre freigesetzt werden und sich unter gleichzeitig dazu einhergehender Oxidation durch Schnellabkühlung verfestigen.

Die **Abbildung 2**, die für die Rauchentwicklung bei Volldraht (Draht Nr. 4 von Tabelle 1(a)) typische Situationen zeigt, veranschaulicht die Rauchbildung durch im unteren Teil der Lichtbogensäule freigesetzten heißen Dampf. Dies, zusammen mit elektronenmikroskopischen Aufnahmen des Rauchs und der chemischen Zusammensetzung<sup>6)</sup> des Drahtes, läßt darauf schließen, daß der vorgenannte Mechanismus der Rauchbildung auch auf den Fall der Benutzung von Volldraht anwendbar ist. Das gleiche Resultat ergibt sich auch im Falle der Benutzung von Fülldraht.

Ausgehend von diesem Mechanismus sollen nun die nachstehenden Überlegungen zu den Versuchsergebnissen angestellt werden.

#### 3.2 Abhängigkeit der Rauchmenge von den Schweißparametern

##### 3.2.1 Einfluß des Schweißstroms

Die **Abbildung 3** zeigt die Ergebnisse zum Einfluß des Schweißstroms auf die Rauchmenge. Wie die Kurvenverläufe zeigen, nimmt die Rauchmenge mit ansteigendem Schweißstrom zu. Dieses Phänomen dürfte hauptsächlich darauf zurückgehen, daß der durch die höhere elektrische Energie bewirkte Anstieg der Lichtbogentemperatur<sup>7)-9)</sup> eine Zunahme der Menge des als Rauchquelle dienenden heißen Dampfes im Lichtbogen herbeiführt.

Die bei normalem Fülldraht entstehende Rauchmenge ist u.a. wegen der hohen Drahtschmelztemperatur (um ca. das 1,5 - 2,0-fache) größer als bei Volldraht. Es werden,

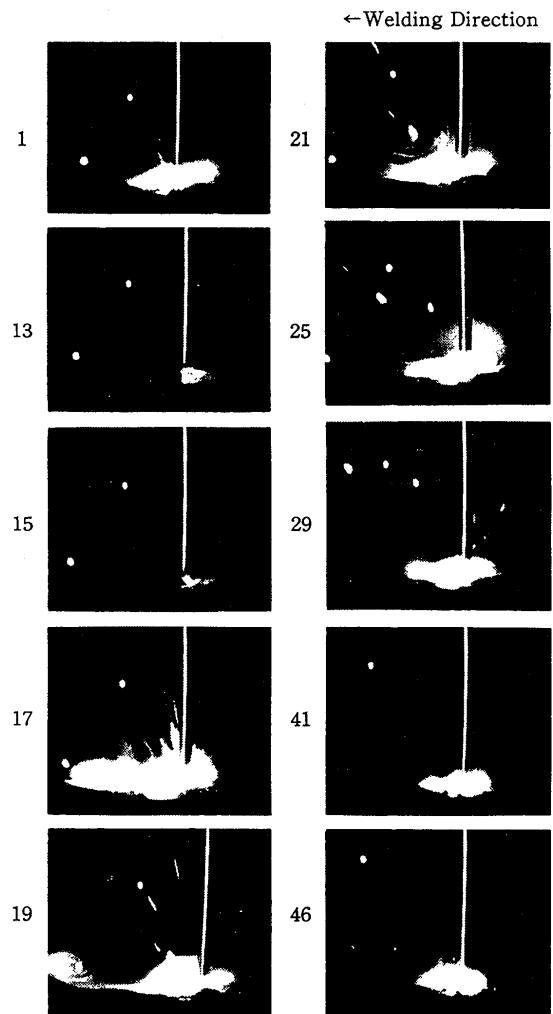


Abb. 2 Vorang der Rauchbildung (2,000 Bilder / sek.), YGW 12 (1.2mm ø , 150A)

## Rauchentwicklung beim CO<sub>2</sub>-Schutzgasschweißen

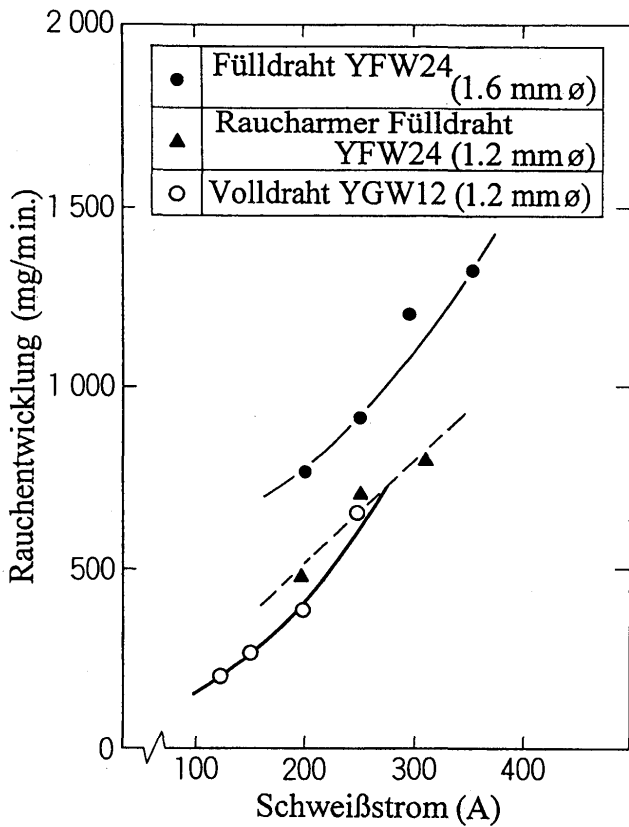


Abb. 3 Schweißstrom und Rauchentwicklung

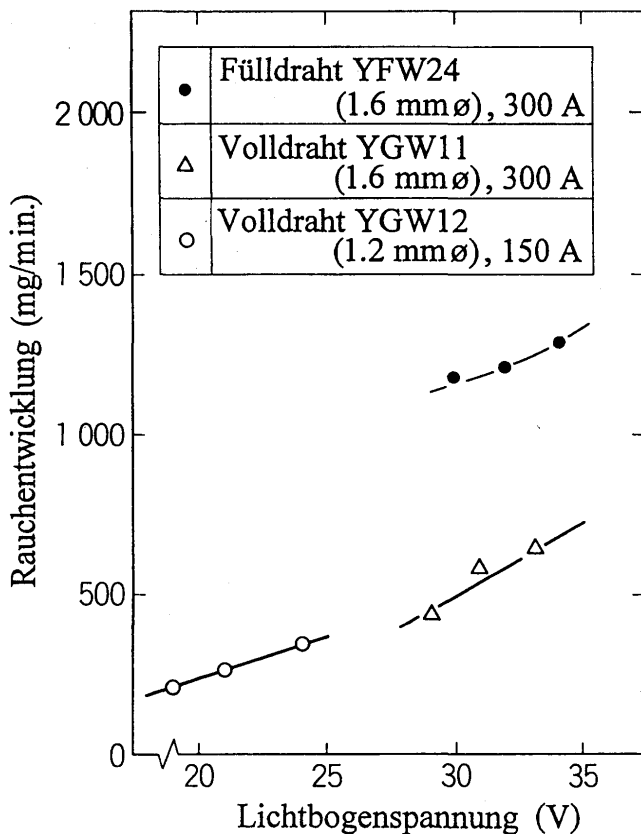


Abb. 4 Lichtbogenspannung und Rauchentwicklung

wie die Abb. 3 zeigt, in der jüngsten Zeit aber auch raucharme Volldrähte entwickelt.<sup>10)</sup>

### 3.2.2 Einfluß der Lichtbogenspannung

Die **Abbildung 4** zeigt die Beeinflussung der Rauchentwicklung durch die Lichtbogenspannung. Sie zeigt eine mit steigender Lichtbogenspannung zunehmende Tendenz der Rauchmenge.

Diese Tendenz läßt sich darauf zurückführen, daß mit steigender Spannung die Länge des Lichtbogens zunimmt, wodurch sich die Plasma-Luftgeschwindigkeit erhöht und eine große Menge des als Rauchquelle dienenden heißen Dampfes in die Atmosphäre gestreut wird. Als Ursache ist auch die mit der Zunahme der elektrischen Energie einhergehende quantitative Zunahme des heißen Dampfes im Lichtbogen denkbar. Wenn man jedoch berücksichtigt, daß ein Anstieg der Spannung keine bedeutende Änderung der als bestimmend für diese Dampfmenge geltenden Lichtbogentemperatur hervorruft<sup>7)-9)</sup>, ist diesem Faktor wohl kein größerer Einfluß zuzuschreiben.

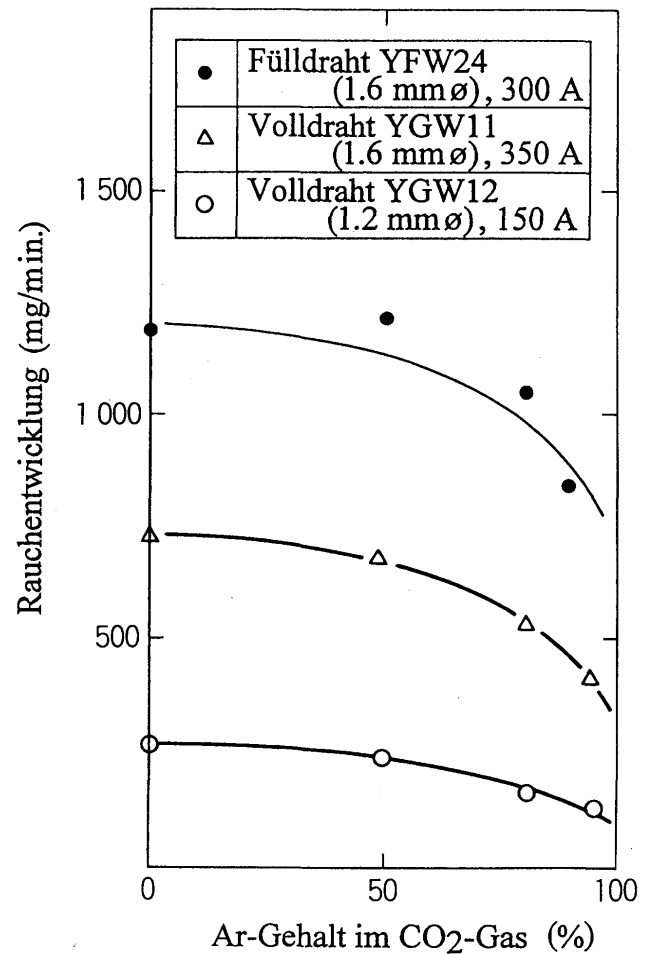


Abb. 5 Schutzgas-Zusammensetzung (Ar-CO<sub>2</sub>-Gruppe) und Rauchentwicklung

### 3.2.3 Einfluß des Schutzgases

Die **Abbildung 5** zeigt die Ergebnisse der Untersuchung zur Beeinflussung der Rauchentwicklung durch Zugabe von Ar zum CO<sub>2</sub>-Gas. Wie ersichtlich, nimmt die Rauchmenge mit größer werdender Menge des Ar-Zusatzes ab. Dies läßt sich dadurch erklären, daß im Falle eines Ar-Zusatzes die Lichtbogentemperatur<sup>7)</sup> niedriger ist und dadurch die Menge des heißen Dampfes im Lichtbogen abnimmt, wobei sich die Lichtbogenstabilität verbessert<sup>4),11)</sup> und das Ausströmen von heißem Dampf unterdrückt wird.

Weiterhin ergab sich, daß den Schwankungen der Schutzgas-Strömungsmenge unter geeigneten Bedingungen (10 - 30 L/min.) kein bedeutender Einfluß auf die Menge der Rauchentwicklung zukommt.

### 3.2.4 Einfluß des Abstands Spitze - Grundmetall

Die Ergebnisse der Untersuchung zur Beeinflussung der Rauchmenge durch den Abstand zwischen Elektrodenspitze und Grundmetall sind in der **Abbildung 6** zusammengestellt. Sie zeigt, daß die Rauchmenge zurückgeht, wenn der Abstand zwischen Spitze und Grundmetall vergrößert wird.

Dies läßt sich darauf zurückführen, daß mit größer werdendem Abstand die Tropfentemperatur abnimmt<sup>12)</sup>,

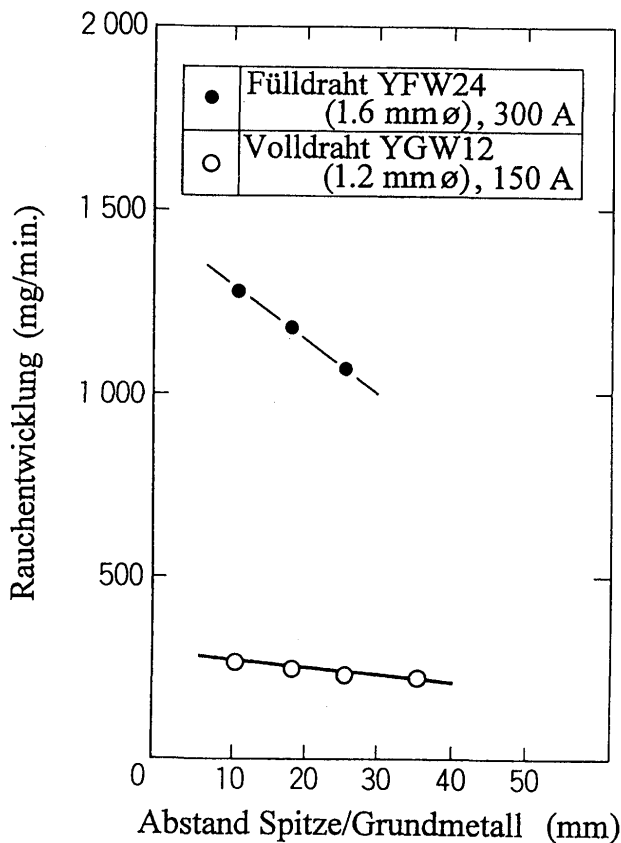


Abb. 6 Abstand Spitze / Grundmetall und Rauchentwicklung

wodurch sich die Menge des rauchbildenden heißen Dampfes im Lichtbogen verringert.

### 3.2.5 Einfluß des Brennerwinkels

Die **Abbildung 7** zeigt den Einfluß des Brennerwinkels auf die Rauchentwicklung. Die entstehende Rauchmenge ist am geringsten bei einem Brennerwinkel von 0 Grad. Wenn ein rückwärts oder vorwärts geneigter Winkel eingestellt wird, nimmt sie mit größer werdendem Anstellwinkel zu. Dies dürfte darauf zurückgehen, daß ein größer werdender Brennerwinkel das Ausströmen des heißen Dampfes aus dem Lichtbogen begünstigt.

Wie die vorstehend besprochenen Kurven zeigen, stimmten die Tendenzen der Beeinflussung der Rauchmenge durch die Schweißparameter bei Volldraht und Fülldraht im wesentlichen überein. Weiterhin stimmen die Ergebnisse dieses Abschnitts praktisch mit den von Hahashi et al. berichteten Ergebnissen zur Rauchentwicklung beim Lichtbogenschweißen mit CO<sub>2</sub>-Schutzgas<sup>3)</sup> überein.

## 3.3 Abhängigkeit der Rauchmenge von der Drahtzusammensetzung

### 3.3.1 Bei Volldraht

Die **Abbildung 8** zeigt die Ergebnisse der Prüfung des Einflusses der Drahtzusammensetzung auf die Rauchentwicklung anhand der Drähte Nr. 3 - 16 (in der Tabelle durch Unterstreichung gekennzeichnete Werte). Wie ersichtlich, besteht bei Verringerung des Kohlenstoffgehalts sowie bei Erhöhung von Mn, Si, Ti und Al eine Tendenz zu abnehmenden Rauchmengen.

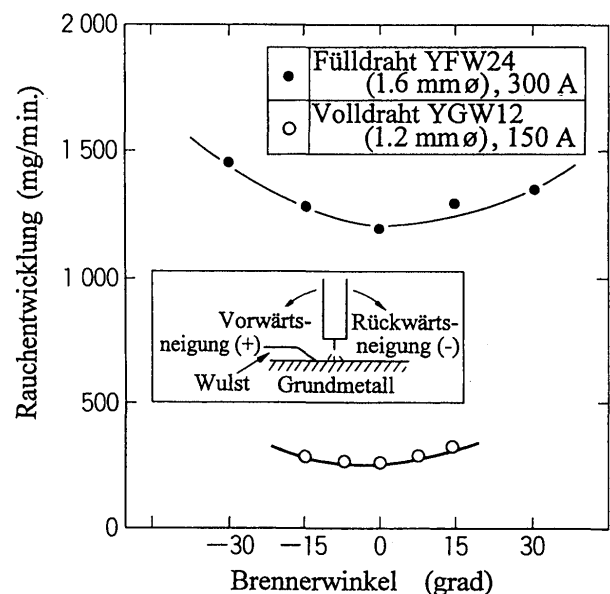


Abb. 7 Brennerwinkel und Rauchentwicklung

## Rauchentwicklung beim CO<sub>2</sub>-Schutzgasschweißen

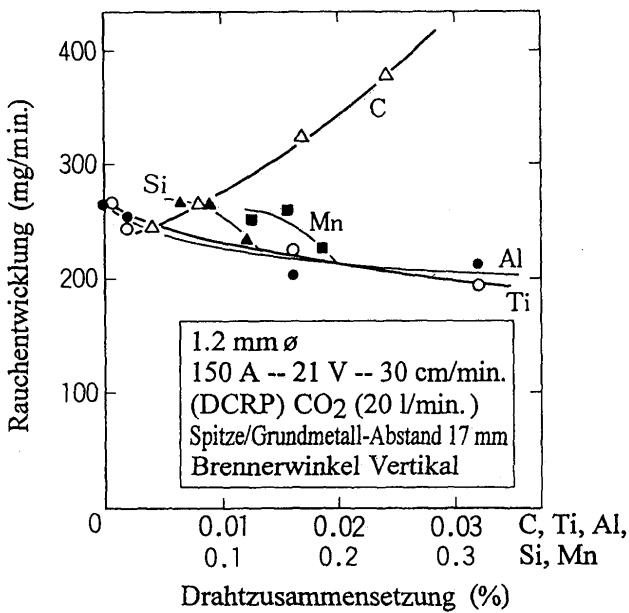


Abb. 8 Einfluß der Drahtzusammensetzung auf die Rauchentwicklung

Als nächstes läßt die eingehende Betrachtung der mit der Hochgeschwindigkeitskamera vorgenommenen Aufnahmen (Abb. 2) erkennen, daß die Rauchbildung bei Volldraht hauptsächlich am Übergang vom Kurzschluß zur Lichtbogenbildung erfolgt. Dies zeigt auf, daß die Zahl der Kurzschlüsse für die Rauchentwicklung ein ausschlaggebender Faktor ist. Die **Abbildung 9** zeigt die Zahl der bei den einzelnen Drahtsorten gemessenen Kurzschlüsse im Vergleich zu den Daten der Abb. 8. Wie ersichtlich, stehen Rauchmenge und die Zahl der Kurzschlüsse in einer konstanten Korrelation zueinander, so daß die Verringerung der Zahl der Kurzschlüsse ein wirksames Mittel zur Verringerung der Rauchentwicklung darstellt.

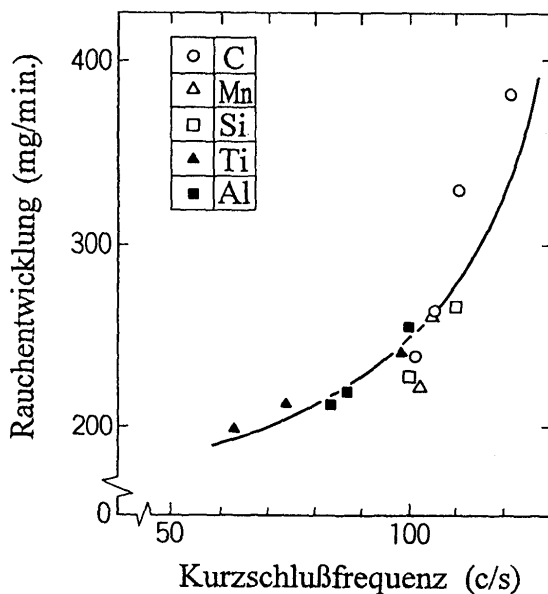


Abb. 9 Relation zwischen Kurzschlußzahl und Rauchentwicklung (Volldraht)

Man kann somit annehmen, daß die Abnahme der in einer direkten Beziehung zur Rauchmenge stehenden Zahl der Kurzschlüsse einen ausschlaggebenden Faktor bei der Verringerung der Rauchentwicklung durch Senkung des C-Gehalts sowie Erhöhung von Mn, Si, Ti und Al darstellt.

### 3.3.2 Bei Fülldraht

Die **Abbildung 10** zeigt die Ergebnisse der Untersuchung des Einflusses der Flußmittelzusammensetzung auf die Rauchmenge anhand der Drähte von Tabelle 1(b) (in Tabelle durch Unterstreichungen gekennzeichnete Werte). Wie ersichtlich, besteht bei Verringerung von CaF<sub>2</sub> sowie Erhöhung der Gehalte an TiO<sub>2</sub>, Fe-Si und Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> eine Tendenz zur Abnahme der Rauchentwicklung, während beim Eisenpulver und Fe-Mn keine nennenswerte Beeinflussung erkennbar ist.

Der Mechanismus der Rauchbildung legt nahe, daß der Dampfdruck der Flußmittelkomponenten eine wichtige Rolle spielt (im Unterschied zu Volldraht treten bei Fülldraht praktisch keine Kurzschluß-Erscheinungen auf, so daß die Kurzschlußzahl hier kein bedeutender Faktor ist), weshalb die Beziehungen zwischen dem Dampfdruck<sup>13),14)</sup> der einzelnen Flußmittel-Bestandteile und der Rauchmenge näher untersucht wurden. Dabei zeigte sich, daß Komponenten mit niedrigem Dampfdruck (TiO<sub>2</sub> usw.) in Richtung auf eine Verringerung der Rauchentwicklung wirken, während Komponenten mit hohem Dampfdruck (CaF<sub>2</sub>) den gegenteiligen Effekt

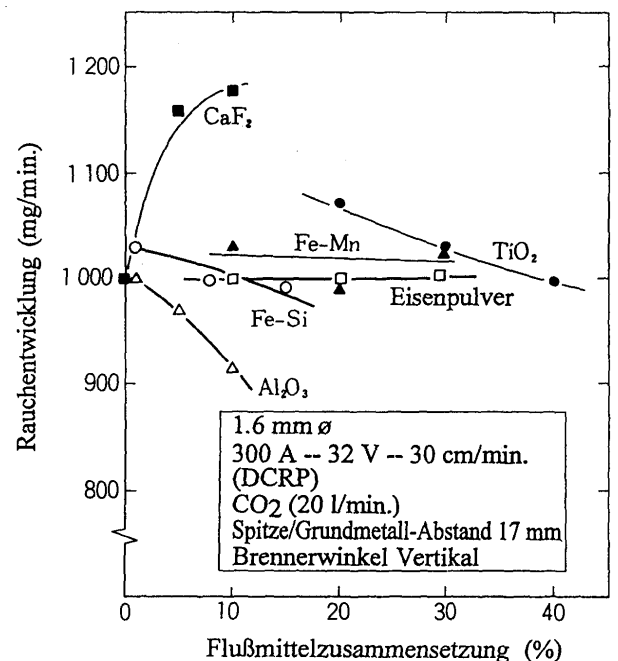


Abb. 10 Einfluß der Flußmittelzusammensetzung auf die Rauchentwicklung bei Fülldraht

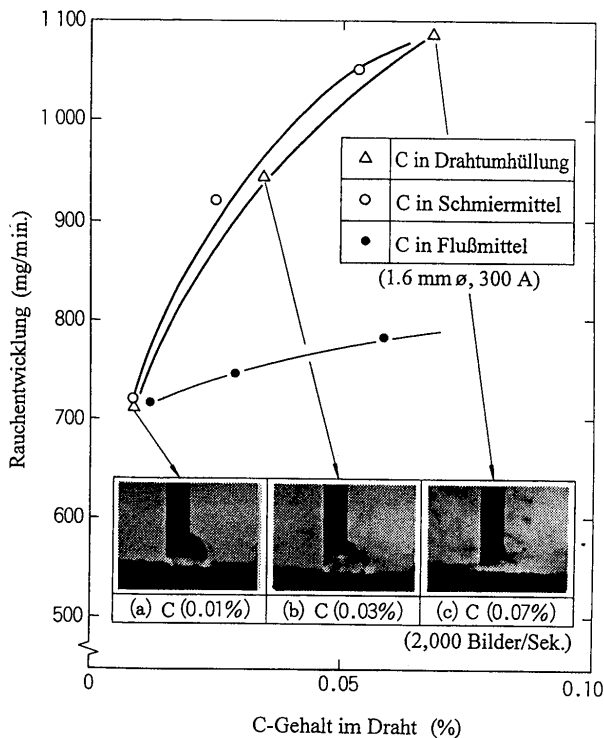
haben. Dieses Resultat der Beeinflussung durch die Flußmittel-Bestandteile dürfte sich daraus erklären, daß die Menge des rauchbildenden heißen Dampf im Lichtbogen abnimmt, wenn das Flußmittel Strukturkomponenten mit niedrigem Dampfdruck enthält, so daß die Rauchentwicklung entsprechend zurückgeht (bei Komponenten mit hohem Dampfdruck gilt entsprechend das Umgekehrte).

Weiterhin konnte auch festgestellt werden, daß bei Vergrößerung des Anteils an Flußmittel die Stromdichte zunimmt und der damit einhergehende Anstieg der Lichtbogentemperatur eine Zunahme der auftretenden Rauchmenge bewirkt.

Zum Einfluß der Drahtzusammensetzung auf die Rauchentwicklung wurde noch eine Reihe weiterer, im vorstehenden nicht aufgeführter Faktoren geprüft. Es zeigte sich, daß der im Draht enthaltene Kohlenstoff eine große Rolle spielt, was ebenfalls angesprochen werden soll.

Die Ergebnisse zur Beeinflussung der Rauchbildung durch die C-Menge im Draht sind in der **Abbildung 11** dargestellt. Wie die Kurven zeigen, verringert sich die Rauchmenge mit abnehmender C-Menge, wobei erkennbar ist, daß vor allem eine Verringerung der C-Menge im Umhüllungsmetall und im Schmiermittel sehr wirkungsvoll zur Verminderung der Rauchmenge beiträgt.

Dies dürfte darauf zurückgehen, daß, wie auch aus den Hochgeschwindigkeitsaufnahmen in Abb. 11 ersichtlich,



**Abb. 11** Einfluß des C-Gehalts im Draht auf die Rauchentwicklung (Fülldraht)

die Verminderung der Kohlenstoffmenge das von CO- bzw. CO<sub>2</sub>-Gas verursachte Platzen hängender Tropfen unterdrückt, wodurch weniger rauchbildender heißer Dampf aus dem Lichtbogen in die Atmosphäre gestreut wird. Der geringe Einfluß der C-Menge im Flußmittel läßt sich daraus erklären, daß beim normalen Fülldraht der hängende Tropfen und die Flußmittelsäule getrennt sind<sup>4)</sup> und der Kohlenstoff im Flußmittel keinen nennenswerten Beitrag zur Bildung von CO-Gas usw. im hängenden Tropfen leistet.

Der in Abb. 3 aufgeführte raucharme Fülldraht wurde übrigens auf der Grundlage der in diesem Abschnitt genannten Ergebnisse entwickelt.<sup>10)</sup>

#### 4. Schlußbetrachtung

Im Rahmen dieser Studie wurde das Phänomen der Rauchentwicklung beim CO<sub>2</sub>-Schutzgasschweißen untersucht, wobei die dazu angestellten Versuche folgende Ergebnisse brachten:

- (1) Die auftretende Rauchmenge nimmt ab, wenn der Schweißstrom oder die Lichtbogen Spannung verringert oder der Abstand zwischen Spitze und Grundmaterial vergrößert wird. Bezüglich des Brennerwinkels gilt, daß die Rauchentwicklung bei einem Winkel von 0 Grad am geringsten ist. Weiterhin verringert sich die auftretende Rauchmenge, wenn der Ar-Zusatz im CO<sub>2</sub>-Gas verringert wird. (Die vorstehenden Ergebnisse dürften sich aus dem herkömmlichen Rauchbildungsmechanismus erklären lassen.)
- (2) Im Falle von Volldraht besteht die Tendenz zu einem Rückgang der Rauchentwicklung, wenn der Kohlenstoff im Draht verringert oder die Zusätze an Mn, Si, Ti oder Al vergrößert werden. Dieses Resultat läßt sich im wesentlichen mit der vom Draht abhängigen Zahl der Kurzschlüsse erklären.
- (3) Bei Fülldraht ergibt sich bei Verringerung des CaF<sub>2</sub> im Flußmittel sowie bei Erhöhung von TiO<sub>2</sub>, Fe-Si und Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> eine Abnahme der Rauchentwicklung, während der Einfluß des Fe-Mn und des Eisenpulvers unerheblich ist. Hierbei ist der Dampfdruck der Flußmittelkomponenten der bestimmende Faktor.
- (4) Eine Verringerung der C-Menge im Draht verringert die Rauchentwicklung bei Fülldraht, wobei insbesondere die C-Menge im Umhüllungsmetall und im Schmiermittel einen bedeutenden Einfluß hat. Die Hauptursache dafür ist die Verringerung der Explosion von CO-Gas usw. im hängenden Tropfen.

#### Literaturliste

- 1) z.B. M. Kobayashi et al.: Welding in the World, Vol. 16, No. 11/12 (1978), S. 238
- 2) R.F. Heile et al.: Weld. J., Vol. 54, No. 7 (1975), S. 201f.



### Rauchentwicklung beim CO<sub>2</sub>-Schutzgasschweißen

- 3) H. Kobayashi et al.: Berichte des Maschinentechnischen Forschungsinstituts, Bd. 32, Nr. 4 (1978), S. 192
- 4) T. Suga et al.: Abhandlungensammlung des Schweißtechnischen Vereins, Bd. 3, Nr. 2 (1985), S. 33
- 5) T. Arai et al.: Abhandlungensammlung des Schweißtechnischen Vereins, Bd. 1, Nr. 2 (1983), S. 279
- 6) Kobe Steel: Referenzmaterial Schweißen (Yousanshi) Nr. 878 (1982), S. 4
- 7) T. Kobayashi et al.: Organ des Schweißtechnischen Vereins, Bd. 39, Nr. 8 (1970), S. 785
- 8) M. Kobayashi et al.: R & D Kobe Seitetsu Giho, Bd. 31, Nr. 3 (1981), S. 76
- 9) B. L. Ibatullin et al.: Act. Svarka, Nr. 2 (1975), S. 71
- 10) T. Suga: Kobe Steel Yosetsubo-dayori (Schweißstab-Nachrichten), Bd. 24, Nr. 8 (1984), S. 6
- 11) K. Ando et al.: Schweißbogen-Phänomen (1973), S. 168, Industrienachrichten (Sanho)
- 12) K. Ando et al.: Organ des Schweißtechnischen Vereins, Bd. 36, Nr. 10 (1967), S. 1117
- 13) K.W. Samsonoff, Hrsg.: Handbuch Neueste Oxide (1979), S. 151, Nichi-Roh-Tsushinsha
- 14) Ausschuß Salzschnmelzen, Hrsg.: Eigenschaftstabelle Salzschnmelzen (1963), S. 341, Kagaku-Donin