OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	100KW Klasse-Elektronenstrahlen-SchweiBtechnologie (Bericht II) : Charakterristik der SchweiBraupen und deren Analyse
Author(s)	Arata, Yoshiaki; Tomie, Michio; Kato, Yutaka
Citation	Transactions of JWRI. 1975, 4(1), p. 1-5
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/8145
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

100 KW Klasse-Elektronenstrahlen-Schweißtechnologie (Bericht II)†

—Charakterristik der Schweißraupen und deren Analyse—

Yoshiaki ARATA*, Michio TOMIE and Yutaka KATO*****

Auszug

Es wurde mit dem im Jahre 1972 von den Verfassern geplanten und zusammengesetzten 100 KW Klasse-Elektronenstrahlenschweißgerät bei Strahlleistungen von 50 bis 100 KW die Schweißung der Metalle durchgeführt. Durch diese Schweißung wurden die Eigenschaften der leistungshohen Elektronenstrahlen auf den Schweißeinbrand untersucht und somit wurden die experimentellen Formeln über deren Einbrandtiefe angegeben. Ferner ließ sich das X-Strahlen-Schlitzkameraverfahren, mit dem man die Einbrandtiefe während des Schweißvorgangs sowie sofort nach dem Schweißen zerstörungsfrei beobachten kann, entwickeln.

1. Einführung

Zur Zeit steht steht als die Methode[1),2)], die Dickplatte mit mehr als 10 cm Stärke in einem Gang schweißen kann, nur die Elektronenstrahlenschweißung zur Verfügung, wobei die Einbrandtiefe der Strahlenschweißung der Elektronenstrahlenleistung fast proportional zunimmt. Die ausführlichen Berichte darüber kommen jedoch noch nicht vor. Die Verfasser haben daher die Elektronenstrahlenschweißmaschine mit 100 KW[1)] (V_b=100 KV, I_b= 1000 mA) zur Probe zuerst in der Welt verfertigt und haben sie somit die Schweiß barkeit der 50 bis 100 KW-Elektronenstrahlen erforscht und zwar die Schweißbedingungen diskutiert.

2. Charakteristik des 100 KW E. B.-Schweißgeräts

Foto 1 zeigt die Gesamtansicht des 100 KW E. B. -Schweißgeräts. Dessen Konstruktion wird folgenderweise in Hauptgruppen geteilt:

1) Elektronenkanone; Strahlleistung (V_b=100 KV, I_b=1000 mA) kurzzeitig 110 KW
2) Strahlenkanal ; Sammellinsensystem
   Entleerung { Elektronenkanone-Vakuumgrad 10^{-5} bis 10^{-4} Torr; Zwischen-Vakuumgrad 10^{-4} bis 10^{-3} Torr
3) Schweißkammer ; Kapazität: 1.3 m^3, Schweißgeschwindigkeit: 0 bis 450 cm/min. Entleerung: Arbeits-Vakuumgrad 5×10^{-4} bis 10^{-2} Torr

Bild 1 zeigt die Leistungscharakteristik dieses Schweißgeräts. Der Minimaldurchmesser (d_b) der

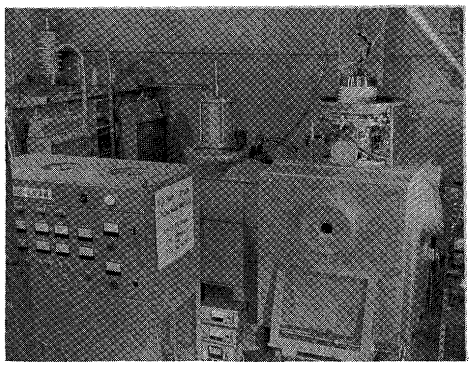


Foto. 1. Gesamtansicht vom 100 KW E. B.-Schweißgerät.

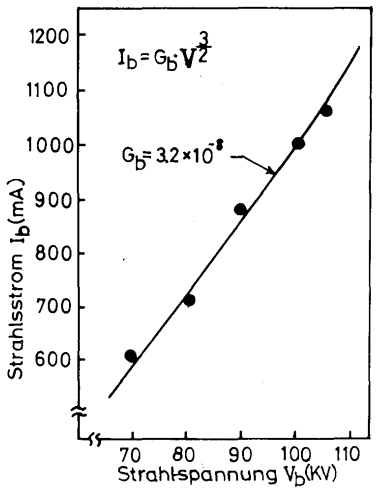


Bild. 1. Strahlenperveanzkurve.

Elektronenstrahlen am Schweißpunkt wird unter Verwendung von A. B-Prüfverfahren[3)] gemessen und daraus ergeben sich folgende Ergebnisse:

Strahlenleistung (W_b)

50 KW (V_b=100 KV, I_b= 500 mA): $d_b \fallingdotseq 1.8$ mmϕ

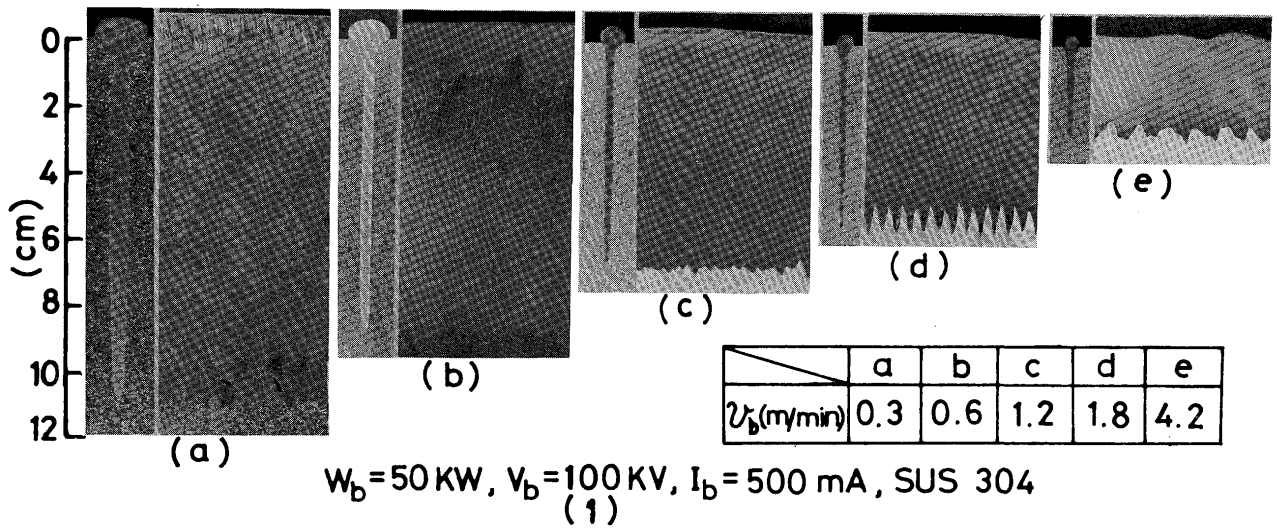
100 KW (V_b=100 KV, I_b=1000 mA); $d_b \fallingdotseq 3$ mmϕ

† Received on Dec. 19, 1974

* Professor

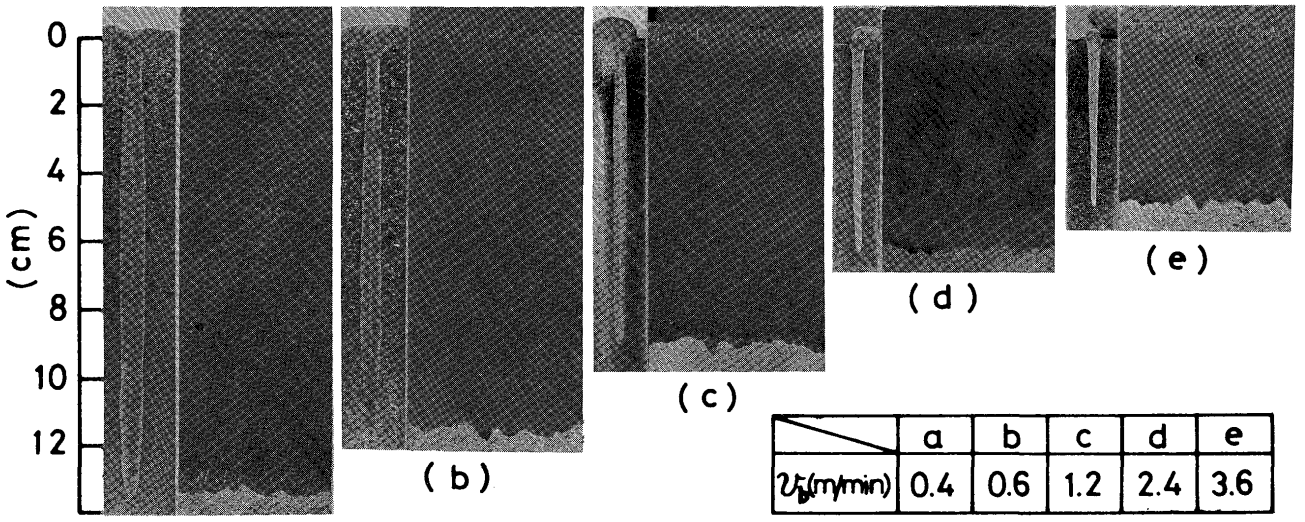
** Research Associate

*** Research Associate, Iron and Steel Technical College



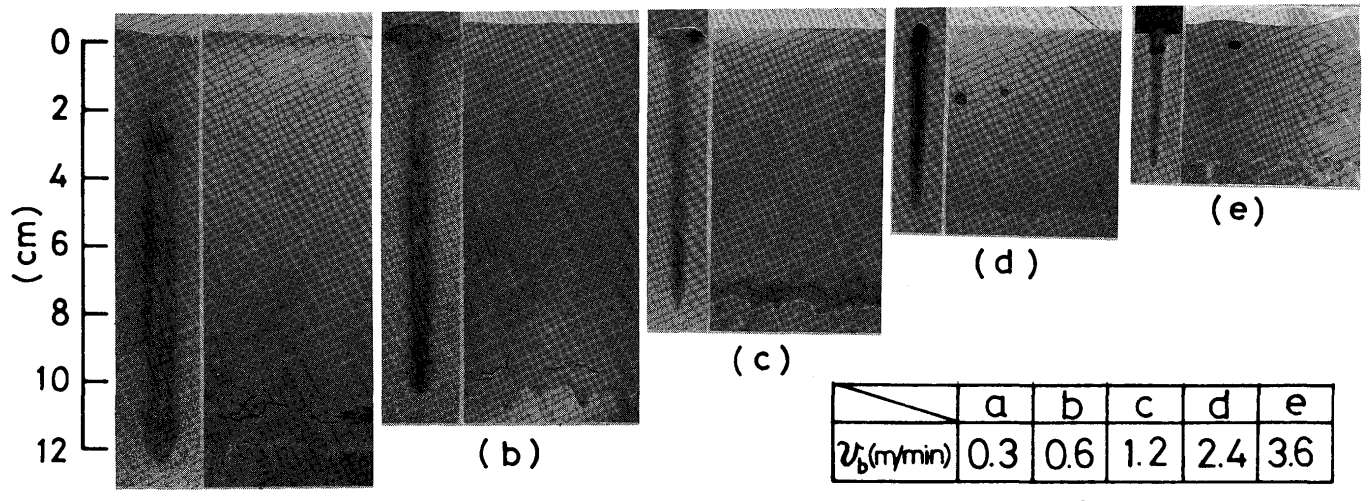
	a	b	c	d	e
v_b(m/min)	0.3	0.6	1.2	1.8	4.2

$W_b = 50\,KW$, $V_b = 100\,KV$, $I_b = 500\,mA$, SUS 304
(1)



	a	b	c	d	e
v_b(m/min)	0.4	0.6	1.2	2.4	3.6

$W_b = 100\,KW$, $V_b = 100\,KV$, $I_b = 1000\,mA$, $\theta_d = -10°$, SUS 304
(2)



	a	b	c	d	e
v_b(m/min)	0.3	0.6	1.2	2.4	3.6

$W_b = 100\,KW$, $V_b = 100\,KV$, $I_b = 1000\,mA$, $\theta_d = -10°$, SM 41
(3)

Foto. 2. Raupenschnitt bei verschiedener Schweißgeschwindigkeit.

3. Einige Ergebnisse und Diskussion

Foto. 2 (1) zeigt die Quer- und Längsschnitte waagrechter Schweißraupen des austenischen rostfreien Stahls (SUS 304) durch 50 KW-Elektronenstrahlen. In diesem Fall wiesen sich die Formen des Raupenschnitts bei Schweißgeschwindigkeit (v_b) kleiner als 120 cm/min. grubenartig und bei großerer Geschwindigkeit als davon keilförmig auf. Wie aus diesem Foto ersichtlich, traten die Ähren (spiking) mit der Zunahme der Geschwindikeit auffallender und größer auf, die Lippellinie entstand unterhalb $v_b = 180$ cm/min. vom Innen der Ähren aus und zwar sie erhob sich stufenweise, mit v_b von 180 bis 240 cm/min. überlagerten sich die gegen die Schweißrichtung rückwärtslaufenden Raupen und die stufenartigen, bei noch höherer Geschwindigkeit waren nur die zurücklaufend sich erhebenden Raupen vorhanden. **Foto. 2 (2)** und **(3)** zeigen die Raupenschnitte von Schweißnähten des rostfreien Stahls (SUS 304) sowie des weichen Stahls (SM 41) durch die 100 KW Elektroenstrahlen an. θ_d stellt den ·Umlenkwinkel der Strahlen dar, die Minus-Zeichnung bedeutet den Rücktrittswinkel aus der Strahlenachse in Hinblick auf die Laufrichtung der Strahlen. Bei der 100 KW E. B.-Schweißung sind die Siede- und Verdampfungserscheinungen in der Strahlennähe bemerklich, und die Einmischmenge in den Strahlenkanal sowie in die Elektronenkanone wird äußerst groß, was die Lichtbogenerscheinung hervorruft. Um dies zu vermeiden, werden Strahlenablenkung und Mehrfachschlitz benützt. Die chemische Zusammensetzung der Materialien wird in **Tafel 1** gezeigt. In **Bild 2** zeigt sich die Einbrandtiefe in bezug auf die Schweißgeschwindigkeit bei W_b 50, 75 und 100 KW. Mit v_b von 40 bis 200 cm/min. ist die Einbrandtiefe (h_p) $v_b^{-\frac{1}{4}}$ proportional, was mit den durch früher entwickeltes 30 KW Klasse-Gerät$^+$ gewonnenen Ergebnissen übereinstimmt und denselben Zusammenhang darstellt. Unterhalb $v_b = 40$ cm/min. fängt h_p zu sättigen an und der Grund hierfür läutet wohl folgenderweise: mit der Zunahme der Wärmeeinbringungsmenge wird die Schwankung des geschmolzenen Metalls heftiger und ein Teil davon läßt sich durch die Elektronenstrahlen weitgehend so überhitzen, daß die für tiefen Einbrand erforderliche Strahlenenergie verbraucht wird. **Bild 3, 4** und **5** zeigen den Zusammenhang zwischen Raupen-Querschnittfläche (S_B), effktiver Raupenbreite ($\widetilde{d_B}$) und effektivem Einbrandparameter ($\widetilde{P_p}$) hinsichtlich der Schweißgeschwindigkeit von SUS 304. S_B hat eine dem $v_b^{-\frac{1}{3}}$-Wert ähnliche Proportinnalbeziehung. d_B ist ungefähr $v_b^{-\frac{1}{4}}$ proportional unterhalb $v_b = 200$ cm/min. und oberhalb davon wird es nie kleiner, weil es dem Strahlendurchmesser sich nähert. Der Maximalwert von $\widetilde{P_p}$ beträgt 23 und somit läßt sich das Merkmal der Strahlenschweißung darstellen; d. h. je größer dieser Wert wird, desto geringer bekommt man die·Wärmedeformation. Die Ergebnisse, die wenige Schweißfehler sowie gute Schweißbarkeit aufweisen, wurden aus dem Bereich gewonnen, in dem der $\widetilde{P_p}$-Wert hoch und das

Tafel. 1. Chemische Zusammensetzung der verwendeten Materialien.

	W_t(%) ⟷ PPM							
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	O
SM 41	0.18	0.47	0.71	0.015	0.010	0.050	68	36
SUS 304	0.05	0.74	1.74	0.030	0.010	0.015	365	70

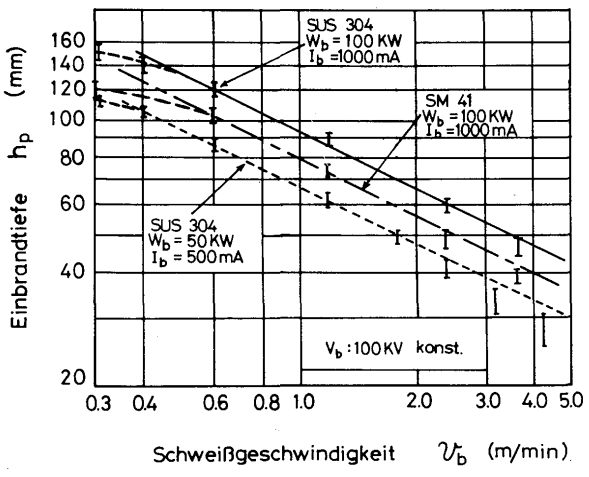


Bild 2. Effekt von v_b und h_p.

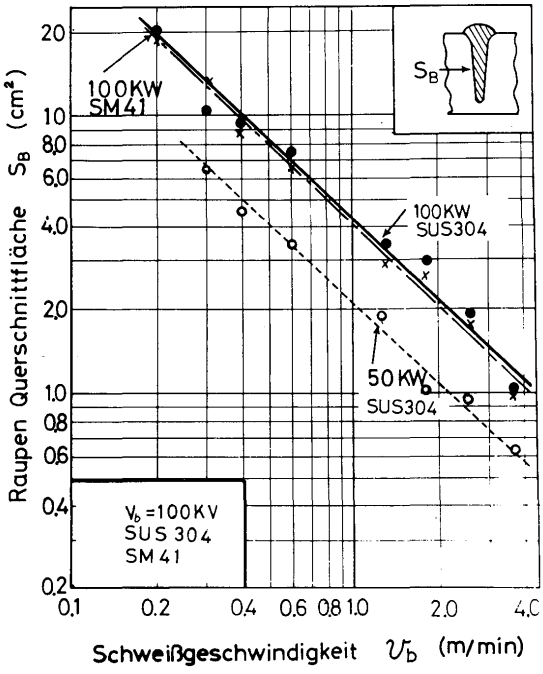


Bild 3. Effekt von v_b und S_B.

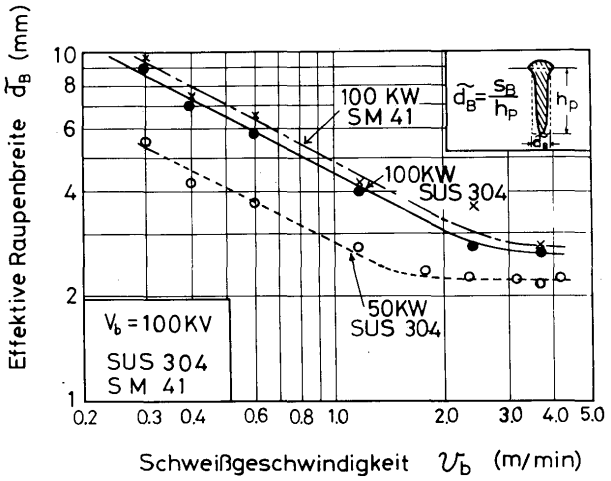


Bild 4. Effekt von v_b und $\widetilde{d_B}$.

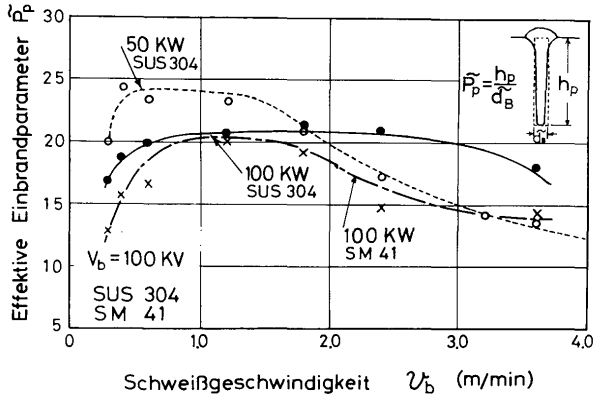


Bild 5. Effekt von v_b und $\widetilde{P_p}$.

Veränderungsratio der Kurve in Bild 5 gering ist.

Nun nach der Erforschung der Versuchsergebinissen bekommt man

$$h_p \propto (v_b \cdot \widetilde{d_B})^{-0.83}$$

und mit dieser Beziehung wurde die untengezeigte experimentelle Formel über die Einbrandtiefe hergeleitet

$$h_p = 0.32 \left(\frac{Q}{K \cdot T_m} \right) \cdot \left(\frac{K_D}{v_b \cdot \widetilde{d_B}} \right)^{0.83}$$

wobei Q: Wärmeeinbringung (cal/s), T_m: Schmelzpunkt (°C), K: Wärmeleitfähigkeit (cal/cm·s·°C) und K_D: Wärmediffusionskoeffizient (cm^2/s) bedeuten. In **Bild 6** zeigt sich der Zusammenhang zwischen der experimentellen Formel und den Versuchswerten über die Einbrandtiefe. Ferner betrug der Schmelzwirkungsgrad über SUS 304 bei der Strahlenschweißung mit W_b 50 bis 100 KW in Hinblick auf v_b ca. 47 bis 60 %. Um die Einbrandtiefe größer als 10 cm zu messen, mußte früher die Schweißnaht geschnitten werden und die dabei sich ergebende Zeitaufwand war sehr groß. Dagegen wurde das X-Strahlen-Schlitzkamera-Verfahren entwickelt, das die Messung während des Schweißvorgangs sowie sofort nach dem Schweißen zerstörungsfrei durchführbar macht. **Bild 7** zeigt schmatische Darstellung von Kamera und Meßverfahren. In **Foto 3 (a)** und **(b)** werden die Meßergebnisse dargestellt. Bei diesem Meßverfahren lag der Fehler gegenüber der 10 cm Klasse-Einbrandtiefe unterhalb weniger Prozente.

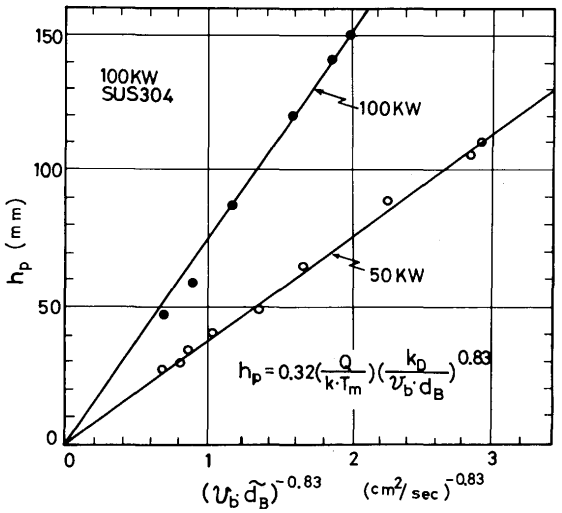


Bild 6. Beziehung zwischen h_p und $(v_b \cdot \widetilde{d_B})^{-0.83}$

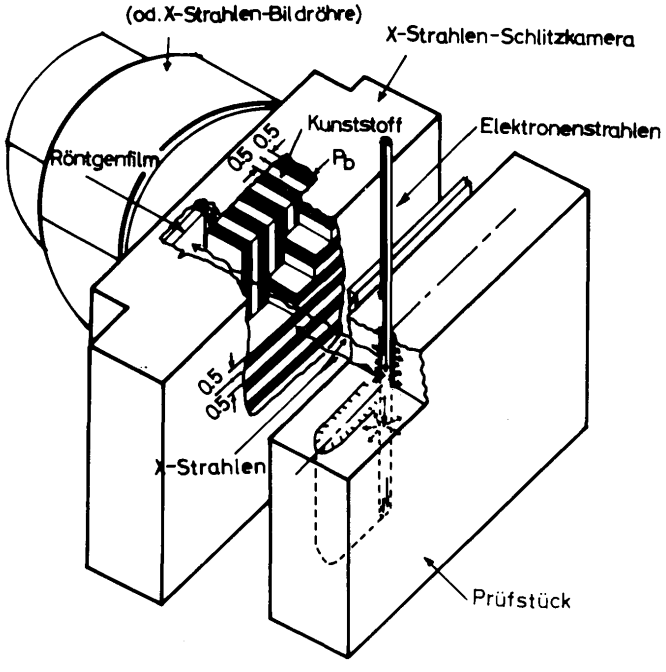


Bild 7. Schematische Darstellung von X-Strahlen-Schlitzkamera.

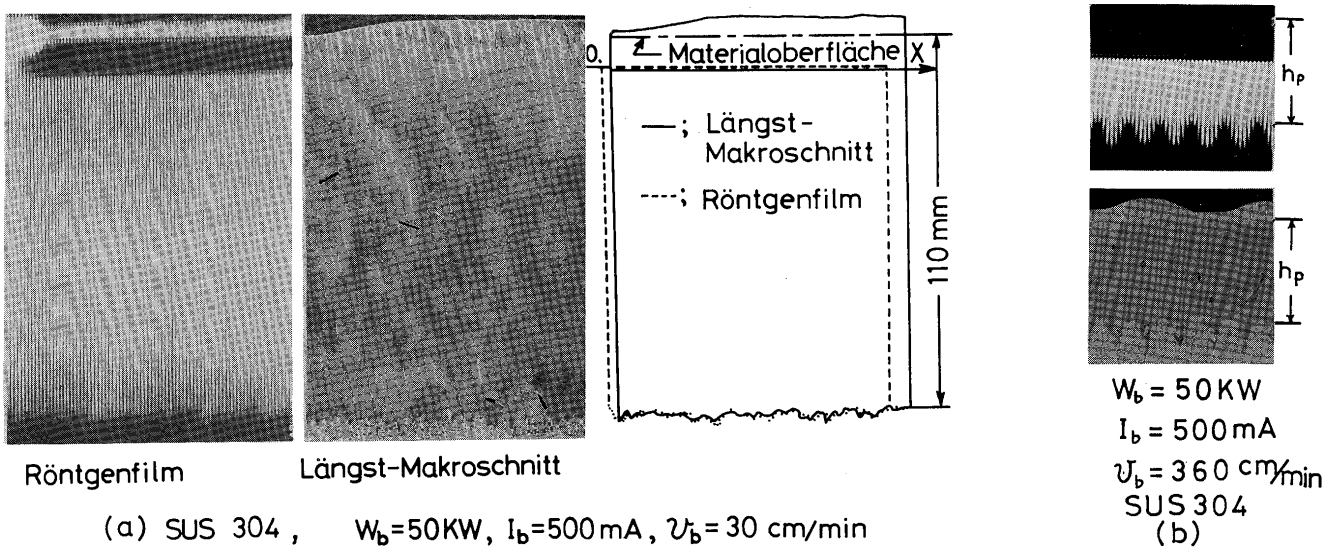


Foto 3. Beispiele des durch die X-Strahlen-Schlitzkamera aufgenommenen Einbrandes.

4. Schlußfolgerungen

Die Versuchsergebnisse werden wie folgt zusammengefaßt:

1) Es wurde bekannt geworden, daß die Dickplattenschweißung des Plattenmaterials mit mehr als 10cm Dicke aus dem austenitischen rostfreien Stahl (SUS 304) sowie dem weichen Stahl (SM 41) durch die 50 bis 100 KW Elektronenstrahlen mit eingängigem Schweißen erfolgreich ausgeführt werden kann.
2) Es wurde festgelegt, daß die Einbrandtiefe der Schweißnaht durch die 50 bis 100 KW Elektronenstrahlenßbei v_b von 50 bis 200 cm/min. dem $v_b^{-\frac{1}{2}}$-Wert proportional ist.
3) Nachdem die experimentelle Formel über die Einbrandtiefe von SUS 304 im Fall von 100KW Klasse Strahlenschweißung ermittelt wurde, wurde es bekannt geworden, daß h_p $(v_b \cdot \widetilde{d}_B)^{0.83}$ umgekehrt proportional ist und dies mit

$$h_p = 0.32 \left(\frac{Q}{k \cdot T_m} \right) \left(\frac{K_D}{v_b \cdot \widetilde{d}_B} \right)^{0.83}$$

angegeben wird.

4) Die X-Strahlen-Schlitzkamera, mit der man die Einbrandtiefe durch die 100 KW Klasse-Strahlenschweißung während des Schweißvorgangs sowie sofort nach dem Schweißen beobachten kann, wurde zur Probe verfertigt und dabei lag der Genauigkeitsfehler dieser Kamera unterhalb weniger Prozente.

5. Anerkennung

Die Verfasser bedanken sich Herrn Dr. F. Matsuda für deren Besprechungen und T. Ukibe, A. Sai und M. Kanai für Hilfe beim Versuch.

Referenzen

1) Y. Arata, M. Tomie: "100 KW Class Electron Beam Welding Technology (Report 1)", Trans JWRI Vol. 2, No. 1 (1973).
2) A. Sanderson: "A 75 KW Electron-beam Instollation for Thick-section Welding" Metal Construction B.W.J., Vol. 6, No. 1 (1974).
3) Y. Arata, M. Tomie, K. Terai, H. Nagai and T. Hattori: "Shape Decision of High Energy Density Beam", Trans JWRI, Vol. 2, No. 1, (1973).
4) Y. Arata, M. Tomie, Y. Kato: "Some Properties of 30 KW Class Electron Beam for Welding", Trans JWRI, Vol. 2, No. 1 (1973).