PATENTSCHRIFT

(12) Wirtschaftspatent

(19) DD (11) 230 812 A1

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

3(51) B 23 K 9/16

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	WP B 23 K / 251 637 4	(22)	01.06.83	(44)	11.12.85
(31)	3387687	(32)	28.09.82	(33)	SU

(71) siehe (72)

(72) Ischenko, Jury S., Moscow, ul. Sovetskoi Armii 17, kv. 172; Roschin, Vladislav V.; Bukarov, Viktor A.; Khavanov, Vladimir A.; Frolova, Nina A., SU

(54) Schutzgas-Lichtbogenschweißverfahren mit nichtabschmelzender Elektrode

(57) Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Schweißen von Stoßverbindungen bei Metallkonstruktionen und Rohren aus austenitischen Stählen. Zweck der Erfindung ist es, die Schweißleistung zu erhöhen. Das Schutzgas-Lichtbogenschweißverfahren mit nichtabschmelzender Elektrode besteht in folgendem. Vor der Schweißung werden die Kanten 5, 6 einer Stoßverbindung 1 zwecks Erhaltung einer Abstumpfung 7 bearbeitet und die Elektrode für die ganze Tiefe h der Nahtfuge abgesenkt. Dann werden im ersten Durchlauf die Abstumpfung 7 in der ganzen Dicke δ_0 aufgeschmolzen und eine Nahtwurzel 8 der ersten Lage 9 ausgebildet. Bei jedem nachfolgenden Durchlauf wird die Energie des Lichtbogens 4 pro Längeneinheit gegenüber dem vorhergehenden Durchlauf geändert. Bei Erreichen einer Tiefe von $h \leq (0{,}3 \text{ bis } 0{,}4)\delta$ der Nahtfuge und deren Breite von $B \leq (1{,}0 \text{ bis } 1{,}3)h$ wird die Elektrode 2 aus dem Bereich der Nahtfuge entfernt und über der Oberfläche der Stoßverbindung 1 im Bereich des Stoßes 3 angeordnet. Ferner wird die Energie des Lichtbogens 4 pro Längeneinheit gegenüber dem vorhergehenden Durchlauf sprunghaft erhöht, und die Kanten 5b, 6b der Stoßverbindung 1 werden unter Ausbildung einer Lage 13 auf der Oberfläche der Verbindung vollständig aufgeschmolzen, worauf die Energie des Lichtbogens 4 pro Längeneinheit von Durchlauf zu Durchlauf geändert wird. Fig. 2

ISSN 0433-6461

11 Seiten

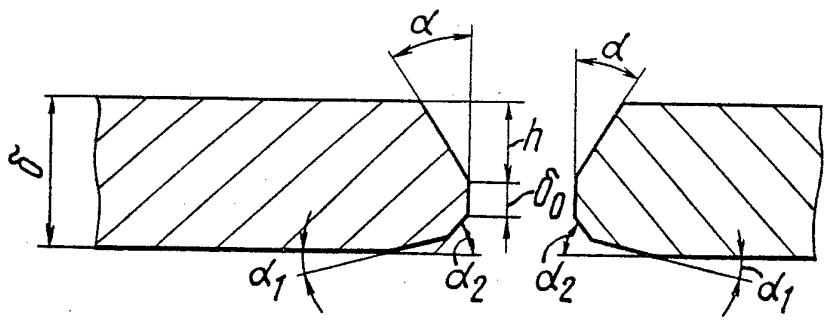


FIG. 1

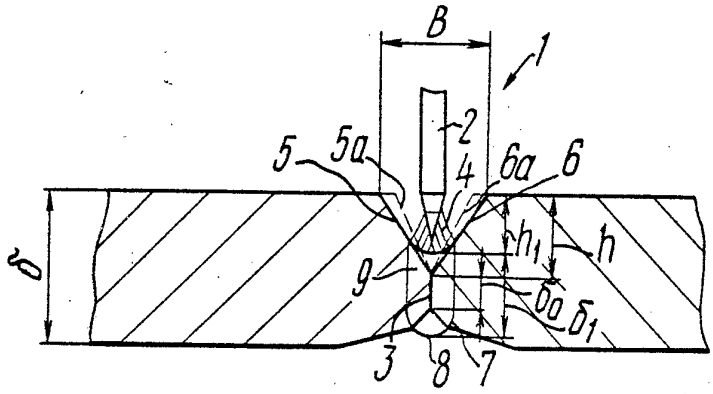


FIG. 2

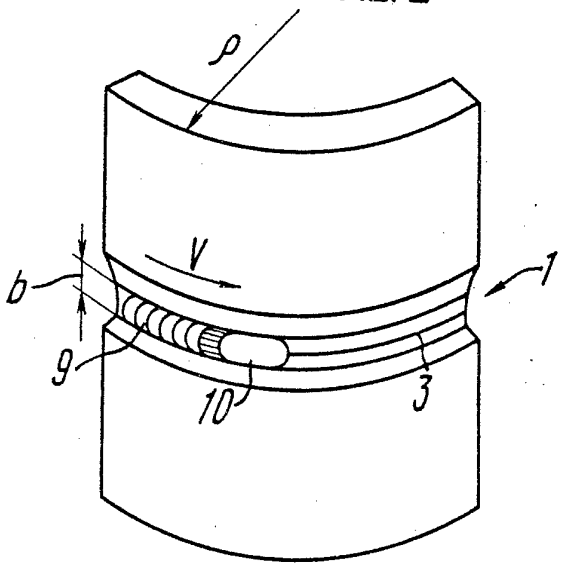


FIG. 3

Erfindungsanspruch:

1. Schutzgas-Lichtbogenschweißverfahren mit nichtabschmelzender Elektrode, bei dem die Kanten einer Stoßverbindung zwecks Erhaltung einer Abstumpfung vor der Schweißung bearbeitet und die Elektrode auf die ganze Tiefe der Nahtfuge abgesenkt wird, worauf im ersten Durchlauf die Abstumpfung in der gesamten Dicke aufgeschmolzen und eine Nahtwurzel der ersten Lage gebildet und jeder nachfolgende Durchlauf mit einer teilweisen Abschmelzung der Stoßkanten unter Ausbildung der Lage ausgeführt wird, die thermoplastische Verformungen der Stoßkanten bewirkt, weshalb der Fugenwinkel der Kanten abnimmt, und zur Auffüllung des Raumes zwischen den Fugenkanten mit dem Metall der Lage bis zur Nahtformung führt, **gekennzeichnet dadurch**, daß bei jedem nachfolgenden Durchlauf die Energie des Lichtbogens (4) pro Längeneinheit gegenüber dem vorhergehenden Durchlauf geändert wird, die unter der Bedingung ermittelt wird:

$$\frac{q}{v} = (\delta - h_{n-1})\ 10^4 \left[\frac{k_1 \cdot \delta^2}{(\delta - \delta_1)^2} - \frac{n}{2\rho\delta}\right]$$

und bei Erreichen einer Tiefe von $h \leq (0{,}3 \text{ bis } 0{,}4)\ \delta$ der Nahtfuge und deren Breite $B \leq (1{,}0 \text{ bis } 1{,}3)\ h$ die Elektrode (2) aus dem Bereich der Nahtfuge entfernt und über der Oberfläche der Stoßverbindung (1) im Bereich des Stoßes (3) der Kanten angeordnet, die Lichtbogenenergie pro Längeneinheit gegenüber dem vorhergehenden Durchlauf sprunghaft erhöht und eine vollständige Abschmelzung der Kanten (5b, 6b) der Stoßverbindung (1) unter Ausbildung einer Lage (13) auf der Oberfläche der Verbindung erreicht werden, worauf die Lichtbogenenergie pro Längeneinheit von Durchlauf zu Durchlauf geändert und deren Wert unter der Bedingung errechnet wird

$$\frac{q}{v} = (\delta - m_{n-1}) \cdot 10^4 \left[\frac{k_2}{\delta} - \frac{n}{\rho\delta}\right]$$

worin

$q = I \cdot U$	Lichtbogenenergie, W/s
v	Lichtbogenbewegungsgeschwindigkeit, cm/s
δ	Dicke der Stoßverbindung, cm
h_1	Tiefe der Nahtfuge nach einem (n-1)ten Durchlauf, cm
h	Tiefe der Nahtfuge — Abstand der Oberflächen der Schweißstücke von der Oberfläche der Lage
B	Fugenbreite, nämlich ein Abstand zwischen den abgeschrägten Kanten auf der Oberfläche der Verbindung
k_2	3,5 bis 3,8
n	laufende Nummer eines Durchlaufes
k_1	Erfahrungszahl von 1,15 bis 1,35
δ_1	Dicke der Lage beim ersten Durchlauf, cm
ρ	Krümmungsradius der Oberfläche der Schweißstücke
m_{n-1}	Größe des Meniskus

sind.

2. Mehrlagenlichtbogenschweißverfahren nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß vor jedem nachfolgenden Durchlauf mit einer Änderung der Energie pro Längeneinheit ein Teil (15) der Stoßverbindung auf eine Temperatur erhitzt wird, die unter der Bedingung ermittelt wird
   $T_2 < T \leq 0{,}2 \text{ bis } 0{,}4\ T_1$
   Hierbei sind
   T Temperatur der Erwärmung des Teils der Stoßverbindung, °C
   T_1 Schmelztemperatur des Metalls der Stoßverbindung, °C
   T_2 Temperatur des übrigen Teils der Stoßverbindung, °C.
3. Mehrlagenlichtbogenschweißverfahren nach den Punkten 1, 2, **gekennzeichnet dadurch**, daß nach der Ausbildung der Lage (13) auf der Oberseite der Verbindung die Energiedichte des Lichtbogens (4) um das 1,5- bis 2fache erhöht wird.
4. Mehrlagenlichtbogenschweißverfahren nach den Punkten 1 bis 3, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Lichtbogen (4) nach jedem nachfolgenden Durchlauf mit einer geänderten Energie des Lichtbogens (4) pro Längeneinheit in Richtung senkrecht zur Schweißrichtung bewegt wird.
5. Mehrlagenlichtbogenschweißverfahren nach den Punkten 1 bis 4, **gekennzeichnet dadurch**, daß im Bereich der Verstärkung der Stoßnaht seitens ihrer Wurzel (8) die Kanten in Form zweier koaxialer geneigter Ebenen mit verschiedenen Neigungswinkeln der Seitenflächen zur Horizontalen bearbeitet werden, wobei der Neigungswinkel (α_1) der Seitenfläche der von der Abstumpfung (7) weiter entfernten geneigten Ebene kleiner als der Neigungswinkel (α_2) der Seitenfläche der an der Abstumpfung (7) anliegenden geneigten Ebene ist.
6. Mehrlagenlichtbogenschweißverfahren nach Punkt 5, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Neigungswinkel (α_2) der Seitenfläche der an der Abstumpfung anliegenden geneigten Ebene ausgehend von der Bedingung ermittelt wird

$$\alpha_2 = \text{arctg}\ \frac{(0{,}09 \text{ bis } 0{,}11)\sqrt{\frac{2\rho}{\delta}}}{(1{,}1 \text{ bis } 1{,}3)b}$$

wobei
ρ Krümmungsradius der Oberfläche der Schweißstücke, cm
δ Dicke der Stoßverbindung, cm
b Breite der Lage im ersten Durchlauf, cm
bedeutet und der Winkel (α_1) um das 1,5- bis 2fache kleiner als der Winkel (α_2) ist.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Schweißen und betrifft insbesondere ein Schutzgas-Lichtbogenschweißverfahren mit nichtabschmelzender Elektrode für Stoßverbindungen.

Am erfolgreichsten kann die vorliegende Erfindung beim Schweißen von Stoßverbindungen bei Metallkonstruktionen und Rohren aus austenitischen Stählen, bei der Montage und Reparatur von Objekten der Kernenergetik, bei der Herstellung technologischer Rohrleitungen, die zur Förderung von Erdölprodukten oder Erdgas vorgesehen sind und in der Erdöl- und Gasindustrie Verwendung finden. Die Erfindung kann auch bei der Herstellung von Brennstoffleitungen in den Apparaten der Flugzeug- und Raketenindustrie angewendet werden, wo die Schweißverbindungen unter den schwersten Bedingungen zum Einsatz kommen, wo nämlich große mechanische Belastungen zugleich mit einem starken Korrosionsmedium auftreten.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Daher werden zur Zeit an die Güte der Schweißnähte der Stoßverbindungen in den oben genannten Industriezweigen erhöhte Anforderungen gestellt. Am besten wird diesen Anforderungen das Schutzgas-Lichtbogenschweißverfahren mit nichtabschmelzender Elektrode (TIG) gerecht. Hierbei werden die Kanten bei der Schweißung von Verbindungen mit einer Dicke unterhalb von 3 mm an den Stoßstellen nicht bearbeitet. Oberhalb dieser Dicke müssen die Kanten aber bearbeitet werden. Bei der Schweißung ohne Kantenbearbeitung wird im ersten Durchlauf die Stoßverbindung in der gesamten Dicke aufgeschmolzen. Bei den nächsten Durchläufen wird dem Lichtbogen ein Zusatzwerkstoff zugeführt, wodurch die erforderliche Verstärkung der Schweißnaht gesichert wird.

Die Anwendung eines Zusatzdrahtes kompliziert die Schweißtechnologie und verlangt von dem Schweißer eine höhere Qualifikation sowie eine komplexere und kostenaufwendigere Ausrüstung.

Bei der Schweißung von Stoßverbindungen mit einer Dicke von über 3 mm werden die Kanten zur Erzielung einer Abstumpfung vorher bearbeitet. Die Elektrode wird bis zur ganzen Tiefe der Nahtfuge abgesenkt, worauf im ersten Durchlauf die Abstumpfung in der gesamten Dicke aufgeschmolzen wird. Jeder nachfolgende Durchlauf erfolgt unter einer teilweisen Abschmelzung der Kanten und unter Zuführung von Zusatzmetall zum Lichtbogen, wobei die Füllung des Raumes zwischen den Fugenkanten bis zur Nahtformung aus mehreren Lagen gebildet wird.

Es muß herausgestellt werden, daß bei der Ausführung der Durchläufe unter Zuführung von Zusatzdraht dem Lichtbogen eine Schwingbewegung in einer zur Schweißrichtung senkrecht verlaufenden Ebene verliehen wird. Dadurch wird es möglich, die Güte der Nahtformung bei einer recht hohen Schweißleistung wesentlich zu verbessern.

Die Ausführung der Schweißung nach der oben genannten Technologie erschwert die Herstellung einer guten Schweißnaht, erfordert zusätzliche Operationen zur Sicherung einer guten Nahtqualität und eine höhere Qualifikation der Schweißer. Zur Realisierung des bekannten Verfahrens ist eine umfangreiche und kostenaufwendige Ausrüstung notwendig, wie beispielsweise die Zuführungseinrichtung für den Zusatzdraht, eine Einrichtung zur Erzeugung von Lichtbogenschwingungen und Elektrogeräte zur Steuerung der oben genannten Mechanismen.

Praktisch wird in der Sowjetunion weitgehend das Schutzgas-Lichtbogenschweißverfahren für Stoßverbindungen verwendet (siehe den UdSSR-Urheberschein 212409).

Das bekannte Verfahren besteht darin, daß im ersten Durchlauf die Stoßverbindung entsprechend der Dicke unter Ausbildung einer Füllage ganz aufgeschmolzen wird, und bei den nächsten Durchläufen kein Zusatzdraht verwendet wird.

Die erforderliche Nahtverstärkung wird in diesem Fall durch Druckkräfte erreicht, die aufgrund ungleichmäßiger Erwärmung in der Stoßverbindung durch den Lichtbogen entstehen und die eine thermoplastische Verformung des am Schweißbad anliegenden Nahtmetalls verursachen. In diesem Verfahren kann aber eine Stoßnaht von hoher Qualität mit einer Dicke bis zu 3 mm erhalten werden. Die Begrenzung des Anwendungsgebietes führt aber zu einer Reduzierung der Effektivität.

Es besteht also die Notwendigkeit, die Grenzen der Anwendung des Lichtbogenschweißens mit nichtabschmelzender Elektrode ohne Zusatzdraht zu erweitern und die Schweißtechnologie für die Stoßverbindungen einfacher und wirtschaftlicher zu gestalten.

Es ist ein Schutzgas-Mehrlagenlichtbogenschweißverfahren mit nichtabschmelzender Elektrode (siehe z. B. UdSSR-Urheberschein 394175, Klasse B 23 K 9/16) bekannt, bei dem die Stoßkanten vor der Schweißung zur Herstellung einer Abstumpfung bearbeitet werden und die Elektrode auf die ganze Tiefe der Nahtfuge abgesenkt wird. Danach wird im ersten Durchlauf die Abstumpfung entsprechend der Dicke ganz aufgeschmolzen und eine Nahtwurzel der ersten Lage erhalten. Ferner wird jeder nachfolgende Durchlauf mit einer teilweisen Abschmelzung der Stoßkanten unter Ausbildung einer Lage ausgeführt, was thermoplastische Verformungen der Stoßkanten hervorruft, wodurch der Fugenwinkel abnimmt und zur Füllung des Raumes zwischen den Fugenkanten mit dem Metall der Lage bis zur Nahtformung führt. Hierbei wird ein Stoßwinkel in Grenzen von 17 bis 30° gewählt, wobei der Stoßwinkel mit zunehmender Dicke des Metalls abnimmt und mit abnehmender Dicke zunimmt.

Bei der Schweißung der Stoßverbindungen nach diesen bekannten Verfahren ist eine genaue Kenntnis des Stoßwinkels für jede Dicke der Stoßverbindung erforderlich. Sonst nimmt die Anzahl der Durchläufe zu, die eine Füllung der Nahtfuge und die Nahtgestaltung sichern. Darüber hinaus steigt mit zunehmender Nahtdicke, was bei nachfolgenden Durchläufen der Fall ist, die Steifigkeit der Verbindung und deren Widerstand gegen die im Schweißvorgang entstehenden thermoplastischen Verformungen. Das führt ebenfalls zur Erhöhung der Anzahl der Durchläufe, zur Verringerung der Schweißleistung und zur Steigerung der Schweißkosten, beispielsweise zur Erhöhung des Schutzgas- und des Stromverbrauches.

Bei der Ausführung der nachfolgenden Durchläufe im genannten Verfahren mit einer geringen Tiefe der Nahtfuge ist es praktisch notwendig, vor der Füllung des Raumes zwischen den Fugenkanten mit Metall und vor der Nahtgestaltung die Elektrode genau über den Stoß zu führen. Andernfalls kann ein Kurzschluß zwischen der Elektrode und den Fugenkanten entstehen, wodurch der Schweißvorgang infolge des Eindringens von Elektrodenmaterialteilchen, von Wolframeinschlüssen in die Naht, beeinträchtigt wird. Dies ist unerwünscht, weil dadurch später Korrosion entsteht. Die Anwendung dieses Verfahrens verlangt von den Operatoren bzw. Schweißern eine höhere Qualifikation, kompliziert und verteuert die Ausrüstung. Außerdem nimmt mit steigender Anzahl der nachfolgenden Durchläufe seitens der Nahtwurzel der ersten Lage auch die Ausbeulung des Grundmetalls zu. Dies ruft einen Spannungszustand des Metalls in der genannten Zone, die Entstehung von Konzentratoren mechanischer Beanspruchungen hervor, was die Betriebseigenschaften der Schweißnaht und beim Schweißen von Rohrstößen eine Verringerung des Durchgangsquerschnitts bewirkt.

Ziel der Erfindung

Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, die Schweißleistung und die Wirtschaftlichkeit des Schweißvorganges durch

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein hochproduktives Schutzgas-Lichtbogenschweißverfahren mit nichtabschmelzender Elektrode für Stoßverbindungen zu entwickeln, bei dem durch die Wahl von Betriebsarten, einer Folge der Ausführung der Durchläufe und durch Kantenbearbeitung der Stoßverbindung seitens der Nahtwurzel eine Schweißnaht von hoher Qualität bei geringeren Schweißkosten und bei einer einfacheren Ausrüstung erhalten wird, ohne daß die Eigenschaften in den an der Naht anstoßenden Zonen beeinträchtigt werden.

Die gestellte Aufgabe wird dadurch gelöst, daß in dem Schutzgas-Lichtbogenschweißverfahren mit nichtabschmelzender Elektrode, bei dem die Stoßkanten zwecks Erhaltung einer Abstumpfung vor der Schweißung bearbeitet und die Elektrode auf die ganze Tiefe der Nahtfuge abgesenkt wird, worauf im ersten Durchlauf die Abstumpfung in der gesamten Dicke unter Ausbildung einer Nahtwurzel der ersten Lage aufgeschmolzen und jeder nachfolgende Durchlauf mit einer teilweisen Abschmelzung der Stoßkanten unter Ausbildung einer Lage ausgeführt wird, die thermoplastische Verformungen der Stoßkanten bewirkt, weshalb der Fugenwinkel der Kanten abnimmt, und zur Auffüllung des Raumes zwischen den Fugenkanten mit dem Metall der Lage bis zur Nahtformung führt, gemäß der Erfindung bei jedem nachfolgenden Durchlauf die Lichtbogenenergie pro Längeneinheit gegenüber dem vorhergehenden Durchlauf geändert wird, die unter der Bedingung ermittelt wird:

$$\frac{q}{v} = (\delta - h_{n-1}) \cdot 10^4 \left[\frac{k_1 \cdot \delta^2}{(\delta - \delta_1)^2} \right] - \frac{n}{2\rho\delta}$$

und bei Erreichen einer Tiefe von $h \leq (0{,}3 \text{ bis } 0{,}4)\ \delta$ der Nahtfuge und deren Breite von $B \leq (0{,}1 \text{ bis } 1{,}3)\ h$ die Elektrode aus dem Bereich der Nahtfuge entfernt und über der Oberfläche der Schweißverbindungen im Bereich der Fugenkanten (Stoßkanten) angeordnet wird, worauf die Lichtbogenenergie pro Längeneinheit gegenüber der im vorhergehenden Durchlauf sprunghaft erhöht und eine vollständige Abschmelzung der Stoßkanten unter Ausbildung einer Lage auf der Oberfläche der Verbindung verwirklicht und dann die Lichtbogenenergie von Durchlauf zu Durchlauf geändert und deren Wert unter der Bedingung errechnet wird:

$$\frac{q}{v} = (\delta - m_{n-1}) \cdot 10^4 \left[\frac{k_2}{\delta} - \frac{n}{\rho\delta} \right]$$

wobei bedeuten:

$q = I \cdot U$	Lichtbogenenergie, W/s
v	Lichtbogenbewegungsgeschwindigkeit, cm/s
δ	Dicke der Stoßverbindung, cm
h_{n-1}	Tiefe der Nahtfuge nach einem (n-1)ten Durchlauf, cm
h	Tiefe der Nahtfuge — Abstand der Oberflächen der Schweißstücke von der Oberfläche der Lage
B	Fugenbreite, nämlich der Abstand zwischen den abgeschrägten Kanten auf der Oberfläche der Verbindung
m_{n-1}	Größe der Nahtabschwächung nach dem vorhergehenden Durchlauf
k_2	3,5 bis 3,8
n	laufende Nummer eines Durchlaufes (von der Erhaltung der Nahtwurzel bis zur Erhaltung der Schweißverbindung)
k_1	Erfahrungszahl von 1,15 bis 1,35
δ_1	Dicke der Lage beim ersten Durchlauf, cm
ρ	Krümmungsradius der Oberfläche der Schweißstücke.

Die Ausführung der nachfolgenden Durchläufe bei sich von Durchlauf zu Durchlauf ändernden Betrieben, die unter der Bedingung ermittelt werden

$$\frac{q}{v} = (\delta - h_{n-1})\ 10^4 \left[\frac{k_1 \cdot \delta^2}{(\delta - \delta_1)^2} - \frac{n}{2\rho\delta} \right]$$

sichert das Auftreten maximaler thermoplastischer Verformungen bei einer zunehmenden Dicke einer sich ausbildenden Naht, die zu einer Verringerung des Fugenwinkels führen, und die Füllung des Raumes zwischen den Kanten mit dem Metall der Lage durch eine volle Ausnutzung der Lichtbogenenergie in der Stoßfuge, durch Schaffung der erforderlichen Heizzone an den Stoßstellen bei genügend anderen kalten Stellen. Die vorgeschlagene Änderungsfolge der Energie pro Längeneinheit von Durchlauf zu Durchlauf berücksichtigt die Zunahme $(\delta - h_{n-1})$ der Dicke der sich ausbildenden Naht, die Änderung

$$\left[\frac{k_1 \cdot \delta^2}{(\delta - \delta_1)^2} \right]$$

der Steifigkeit der Verbindung, die Krümmung $\left(\frac{n}{2\rho\delta}\right)$ der zu schweißenden Stoßverbindung und die Heizstufe, die auf die vorangegangenen Durchläufe zurückzuführen ist. Die angeführten Abhängigkeiten wurden auf Grund zahlreicher Versuchswerte ermittelt. Die Gewährleistung einer maximalen thermoplastischen Verformung führt zur Reduzierung der Anzahl der Durchläufe und damit zur Steigerung der Schweißleistung. Darüber hinaus ermöglichen die maximalen thermoplastischen Verformungen eine gleichmäßige Verformung des Metalls der Lage in Richtung der Nahtfuge und der Nahtwurzel, wodurch die Güte der Schweißverbindung verbessert wird.

Die Durchführung des Entfernens der Elektrode aus der Nahtfuge, deren Anordnung über der Oberfläche der Schweißverbindungen im Bereich der Stoßkanten bei Erreichen einer Tiefe der Nahtfuge von $h \leq (0{,}3 \text{ bis } 0{,}4)\ \delta$ und deren Breite von $B \leq (1{,}0 \text{ bis } 1{,}3)\ h$ führt zur Vereinfachung der nachfolgenden Operationen, wobei insbesondere die Forderungen einer exakten Elektrodenführung über die Stoßfuge reduziert werden können. Dies vereinfacht die Schweißtechnologie, die Ausrüstung und setzt die Ansprüche an die Qualifikation des Operators bzw. Schweißers herab. Was die Erfüllung der Bedingungen $h \leq (0{,}3 \text{ bis } 0{,}4)\ \delta$ und $B \leq (1{,}0 \text{ bis } 1{,}3)\ h$ anbelangt, sind diese durch die Durchschweißeigenschaften des Lichtbogens unter Schutzgas festgelegt. Bei der Ausführung des Durchlaufes nach der Entfernung der Elektrode aus dem Bereich der Nahtfuge wird die Lichtbogenenergie pro Längeneinheit unter der Voraussetzung sprunghaft erhöht, daß eine vollständige Abschmelzung der Stoßkanten gewährleistet ist. Bei Nichterfüllung der oben genannten Voraussetzungen ergibt eine beliebige Erhöhung der Lichtbogenenergie pro Längeneinheit kein erwünschtes Resultat. Im Ergebnis der vollständigen Abschmelzung der Kanten bildet sich eine Lage auf der Oberseite der Stoßverbindung aus, was die Ausführung der nachfolgenden Durchläufe vereinfacht, da die Elektrodenführung über die Oberfläche der Lage in der Tiefe der Nahtfuge usw. entfällt.
Hierbei wird die Lichtbogenenergie pro Längeneinheit bei den nachfolgenden Durchläufen von Durchlauf zu Durchlauf gleichfalls geändert, deren Wert unter der Bedingung ermittelt wird:

$$\frac{q}{v} = (\delta - m_{n-1}) \cdot 10^4 \left[\frac{k_2}{\delta} - \frac{n}{\delta\delta}\right]$$

Die aufgeführte Abhängigkeit ist ausgehend von zahlreichen Versuchswerten erhalten und berücksichtigt eine Vergrößerung der Steifigkeit $(\delta - m_{n-1})$ der Stoßverbindung von Durchlauf zu Durchlauf und die oben genannten Faktoren.
Bei einem durch die aufgeführte Formel gegebenen Betrieb entstehen thermoplastische Verformungen, die für eine rasche Beseitigung der Nahtabschwächung (m_{n-1}), d. h. des Meniskus, und für die Ausbildung einer Naht von hoher Qualität sorgen.
Vor jedem nachfolgenden Durchlauf mit einer geänderten Energie pro Längeneinheit ist es zweckmäßig, einen Teil der Stoßverbindung auf eine Temperatur zu erhitzen, die unter der Bedingung ermittelt wird
$T_2 < T \leq (0{,}2 \text{ bis } 0{,}4)\ T_1$
Hierin sind
T Temperatur der Erwärmung eines Teiles der Stoßverbindung, °C
T_1 Schmelztemperatur des Metalls der Stoßverbindung, °C
T_2 Temperatur des übrigen Teiles der Stoßverbindung, °C
Ein solcher Verfahrensschritt vergrößert die Ungleichmäßigkeit der Erhitzung der Stoßverbindung. Dies intensiviert seinerseits thermoplastische Verformungen und beschleunigt dadurch den Vorgang der Verringerung des Fugenwinkels und der Füllung des Raumes zwischen ihnen mit Metall. Im Endeffekt vermindert das die Anzahl der Durchläufe und erhöht die Schweißleistung.
Die Notwendigkeit, die Temperatur $T \leq (0{,}2 \text{ bis } 0{,}4)\ T_1$ zu sichern, ist durch die mechanischen Eigenschaften des Schweißmetalls bedingt. Gerade im Temperaturbereich von (0,2 bis 0,4) T_1 sinkt bei den meisten Metallen die Festigkeitsgrenze stark ab, was in unserem Fall für die Intensivierung der Verformung erforderlich ist. Bei einer Temperatur eines Teiles der Stoßverbindung unterhalb der Temperatur T_2 des übrigen Teiles der Stoßverbindung nimmt die Ungleichmäßigkeit in der Erwärmung der Stoßverbindung zu, was eine intensivere Verformung bewirkt, wodurch die Nahtverstärkung beschleunigt wird.
Wünschenswert ist es, die Konzentration der Lichtbogenenergie nach der Ausbildung einer Lage auf der Oberseite der Verbindung um das 1,5- bis 2fache zu vergrößern.
Die Erhöhung der Konzentration der Lichtbogenenergie reduziert deren Abgabe an das Umgebungsmedium und vergrößert deren Durchschweißvermögen. Außerdem führt dies zu einer großen Ungleichmäßigkeit in der Erhitzung der Verbindung und gewährleistet im größeren Umfang einen intensiven Verlauf der thermoplastischen Verformungen. Das letztere ist in der Schlußphase der Erhaltung der Schweißverbindung am notwendigsten, wenn deren Steifigkeit Maximalwerte erreicht. Die Zahlenwerte 1,5 bis 2 sind in den physikalischen Möglichkeiten eines Argonlichtbogens begründet. Es ist technisch kompliziert, eine mehr als zweifache Energiedichte des Argonlichtbogens zu erhalten.
In weiterer Ausbildung der Erfindung wird der Lichtbogen bei jedem nachfolgenden Durchlauf mit einer geänderten Energie pro Längeneinheit in einer zur Schweißrichtung senkrechten Richtung verschoben.
Die Durchführung dieses genannten Schrittes in der Tiefe der Nahtfuge gestattet es, zum einen das Volumen der teilweisen Abschmelzung der Kanten zu vergrößern, was zu einer intensiven Verringerung des Fugenwinkels und zur Füllung des Raumes zwischen den Fugenkanten mit Metall führt, und zum anderen eine Verschmelzung der Fugenkanten mit dem Metall der Lage zu sichern. Eine derartige Operation nach der Ausbildung der Lage auf der Oberfläche der Verbindung trägt zu einer Erweiterung der Heizzone in Querrichtung und zur Intensivierung des Verlaufes der thermoplastischen Verformungen bei.
Es ist zweckmäßig, in der Zone der Verstärkung der Stoßnaht hinsichtlich ihrer Wurzel die Nahtfuge in Form zweier koaxialer geneigter Ebenen mit verschiedenen Neigungswinkeln der Seitenflächen zur Horizontalen auszuführen, wobei der Neigungswinkel α_1 der Seitenfläche der von der Abstumpfung weiter entfernten geneigten Ebene kleiner als der Winkel α_2 der Seitenfläche der an der Abstumpfung anliegenden geneigten Ebene ist.
Die hinsichtlich der Nahtwurzel so ausgeführte Nahtfuge gestattet es, in der Naht selbst und dem angrenzenden Bereich eine schädliche Ausbeulung der Oberfläche infolge der thermoplastischen Verformungen der Schweißverbindung zu vermindern und damit einen allmählicheren Übergang der Nahtoberfläche in die Oberfläche der Verbindung zu ermöglichen. Das letztere verhindert das Entstehen von Konzentrationen mechanischer Beanspruchungen und verbessert die Güte der Schweißverbindungen und deren Betriebseigenschaften.
Die Notwendigkeit, die geneigten Seitenflächen mit verschiedenen Neigungswinkeln α_1 und α_2 auszuführen, ist durch verschiedene Verformungsgrade der Naht und der angrenzenden Zonen des Metalls bedingt. Am intensivsten und in einem stärkeren Maße treten die Verformungen im Nahtbereich auf. Deshalb ist der Neigungswinkel α_2 der Seitenfläche der an der Abstumpfung anliegenden geneigten Ebene (im Nahtbereich) an dieser Stelle größer. In dem von der Abstumpfung weiter entfernten Bereich verlaufen die Verformungen weniger intensiv als in dem an der Abstumpfung anliegenden Bereich. Dies ist durch die kleinere Temperatur der Metallerwärmung des weiter liegenden Bereiches und in dessen höheren Festigkeitswerten begründet, weshalb der Neigungswinkel α_1 der Seitenfläche der von der Abstumpfung weiter entfernten geneigten Ebene kleiner ist.

Erfindungsgemäß wird der Neigungswinkel α_2 der Seitenfläche der an der Abstumpfung anliegenden geneigten Ebene zur Horizontalen ausgehend von der Bedingung wie folgt bestimmt

$$\alpha_2 = \text{arctg} \frac{(0{,}09 \text{ bis } 0{,}11)\sqrt{\frac{2\rho}{\delta}}}{(1{,}1 \text{ bis } 1{,}3)b}$$

Dabei bedeutet:
ρ Krümmungsradius der Oberflächen der Schweißverbindung, cm
δ Dicke der Stoßverbindung, cm
b Breite der Lage beim ersten Durchlauf,
während der Winkel α_1 um das 1,5- bis 2fache kleiner als der Winkel α_2 gewählt wird.
Die oben angeführte Abhängigkeit ist ausgehend von zahlreichen Versuchswerten erhalten. Die Wahl des Winkels α_2 nach der genannten Abhängigkeit trägt am besten zur Verbesserung der Eigenschaften der Schweißverbindungen bei.

Ausführungsbeispiele

Die Erfindung soll aus nachstehend konkreten Ausführungsbeispielen erläutert werden. In der dazugehörigen Zeichnung zeigen
Fig. 1: schematisch einen Querschnitt durch eine erfindungsgemäße Nahtfuge mit Stoßkanten,
Fig. 2: eine erfindungsgemäße Stoßverbindung bei der Ausführung des ersten Durchlaufes n_1 im Querschnitt,
Fig. 3: eine erfindungsgemäße Stoßverbindung mit der ersten Lage in Draufsicht,
Fig. 4: eine graphische Darstellung der Änderung der Energie $\frac{q}{v}$ pro Längeneinheit von Durchlauf zu Durchlauf „n",
Fig. 5: einen Querschnitt durch eine erfindungsgemäße Stoßverbindung bei der Ausführung der nachfolgenden Durchläufe n_i,
Fig. 6: eine erfindungsgemäße Stoßverbindung bei Erreichen einer Tiefe von $h \leq (0{,}3 \text{ bis } 0{,}4)\,\delta$ der Nahtfuge und deren Breite von $B \leq (1{,}0 \text{ bis } 1{,}3)\,h$,
Fig. 7: eine erfindungsgemäße Stoßverbindung nach der Ausführung eines Durchlaufes, bei dem die Lichtbogenenergie pro Längeneinheit sprunghaft erhöht wurde,
Fig. 8: eine Schweißnaht einer Stoßverbindung,
Fig. 9: eine erfindungsgemäße Stoßverbindung mit einem einer zusätzlichen Erhitzung ausgesetzten Teil einer Stoßverbindung in Draufsicht.

Das Schutzgas-Mehrlagenlichtbogenschweißverfahren für Stoßverbindungen wird wie folgt verwirklicht:
Vor der Schweißung wird die Nahtfuge der Stoßkanten bearbeitet: seitens des Lichtbogens werden Abschrägungen mit einem Winkel α (Fig. 1) zur Vertikalen und von der dem Lichtbogen entgegengesetzten Seite mit Winkeln α_1 und α_2 ausgeführt, wobei der Neigungswinkel α_1 der Seitenfläche der von der Abstumpfung entfernten geneigten Ebene zur Horizontalen kleiner als der Neigungswinkel α_2 der Seitenfläche der an der Abstumpfung anliegenden geneigten Ebene zur Horizontalen ausgeführt ist. Die Kanten werden in der Weise bearbeitet, daß eine Abstumpfung mit einer Dicke von δ_0 erhalten wird. Dann wird eine Stoßverbindung 1 (Fig. 2) zusammengesetzt, wobei deren Steifigkeit mit Hilfe von speziellen Vorrichtungen oder Heftungen (siehe F. A. Hromchenko, „Schweißung der Ausrüstung von Elektrizitätswerken", Verlag „Energia", Moskau, 1977, S. 165 bis 167, Fig. 7–4) gewährleistet wird.
Nach dem Zusammensetzen der Stoßverbindung 1 wird die Elektrode 2 (Fig. 2) in der ganzen Tiefe h der Nahtfuge unter Berücksichtigung der Lichtbogenlänge abgesenkt, wobei sie (Elektrode) über dem Stoß 3 angeordnet wird. Zwischen der Elektrode 2 und dem Stoß 3 wird ein Lichtbogen gezündet, der durch eine teilweise Aufschmelzung des Metalls von Kanten 5 und 6 ein vollständiges Durchschweißen der Dicke δ_0 einer Abstumpfung 7 unter Ausbildung einer Nahtwurzel 8 der ersten Lage 9 verwirklicht. Indem der Lichtbogen 4 mit einer Geschwindigkeit v (Fig. 3) entlang des Stoßes 3 bewegt wird, bildet sich die Lage 9 aus. Hierbei wird im Metall längs des Stoßes 3 und in einer zu diesem senkrechten Richtung eine ungleichmäßige Erwärmung erzeugt.
In den mit dem Lichtbogen 4 kontaktierenden und an der Lage 9 anliegenden Abschnitten ist die Temperatur des Metalls höher als die in den von der Lage 9 entfernt liegenden Abschnitten. Deshalb ist das Metall in den an der Lage 9 anliegenden Abschnitten bestrebt, sich weiter als das Metall in den entfernt liegenden Abschnitten auszudehnen. Dadurch entstehen im Bereich der Lage 9 Druckkräfte, die eine plastische Verformung der Lage 9 in dem Bereich des Schweißbades 10 hervorrufen. Das letztere führt zur Verringerung des Fugenwinkels α (Fig. 1) und zur Füllung des Raumes zwischen den Kanten 5 und 6 mit dem Metall der Lage 9 (Fig. 2). Die Kanten nehmen eine neue Stellung 5a und 6a ein.
Nach der Durchführung des ersten Durchlaufes n_1 (Fig. 4) mit einer Energie $\frac{q_1}{v_1}$ pro Längeneinheit, mit der die Dicke δ_0 (Fig. 1) der Abstumpfung 7 vollständig durchgeschmolzen und die erste Lage 9 (Fig. 2) mit einer Dicke von δ_1 ausgebildet wurde, wird ein zweiter Durchlauf n_2 vollzogen. Hierbei wird die Energie $\frac{q_2}{v_2}$ pro Längeneinheit unter der Bedingung einer vollständigen Durchschmelzung der Dicke δ_1 gewählt. Ferner wird die Lichtbogenenergie pro Längeneinheit bei jedem nachfolgenden Durchlauf von n_2 bis n_i gegenüber dem vorhergehenden gemäß einer Kurve 11 (Fig. 4) geändert, die durch die folgende Abhängigkeit beschrieben wird

$$\frac{q}{v} = (\delta - h_{n-1}) \cdot 10^4 \left[\frac{k_1 \cdot \delta^2}{(\delta - \delta_1)^2} - \frac{n}{2\rho\delta}\right] \qquad (I)$$

Infolge der Durchführung der Durchläufe n_2 bis n_i mit der geänderten Energie pro Längeneinheit nähern sich die Kanten 5 und 6 (Fig. 5) einander, wobei sie die Stellungen 5a, 6a; 5b, 6b usw. einnehmen, die Fugenbreite fällt auf Werte von B_1, B_2, B_3 ab und erreicht einen Wert von $B \leq (1{,}0 \text{ bis } 1{,}3)\,h$, während das Metall infolge einer plastischen Verformung des Metalls der Lagen den Raum zwischen den Kanten füllt. Weiterhin fällt die Tiefe der Nahtfuge auf Werte h_1, h_2, h_3 ab und erreicht einen Wert von $h \leq (0{,}3 \text{ bis } 0{,}4)\,\delta$.

Im weiteren wird die Elektrode 2 (Fig. 6) aus dem Bereich der Nahtfuge herausgeführt und über der Oberfläche der Schweißverbindungen symmetrisch um die Kanten 5b und 6b usw. angeordnet. Danach wird die Lichtbogenenergie $\frac{q_i}{v_i}$ pro Längeneinheit gemäß einer Kurve 12 (Fig. 4) im Vergleich zu dem vorhergehenden Durchlauf sprunghaft erhöht. Beim n_i-ten Durchlauf werden die Kanten der Stoßverbindung 1 unter Ausbildung einer Lage 13 (Fig. 7) mit einer Größe „m" des Meniskus auf der Oberfläche der Verbindung ganz abgeschmolzen. Danach wird die Energie $\frac{q}{v}$ pro Längeneinheit gemäß einer Kurve 14 (Fig. 4) vom n_i-ten Durchlauf bis zum letzten Durchlauf geändert, die durch die Abhängigkeit beschrieben wird

$$\frac{q}{v} = (\delta - m_{n-1}) \cdot 10^4 \left[\frac{k_2}{\delta} - \frac{n}{\rho\delta}\right], \qquad (II)$$

Auf Grund der plastischen Verformung des Metalls der Lagen 13 sinkt die Größe „m" des Meniskus auf 0 ab, worauf eine Überhöhung einer Naht 16 (Fig. 8) erscheint. Die Durchläufe werden bis zur Erhaltung der erforderlichen Verstärkung der Naht 16 ausgeführt. Zur Intensivierung der thermoplastischen Verformungen, nämlich zur Beschleunigung des Vorganges der Verringerung des Fugenwinkels α der Kanten 5 und 6 (Fig. 2) und der Füllung des Raumes zwischen ihnen bei jedem nachfolgenden Durchlauf eines Teiles 15 (Fig. 9) der Stoßverbindung 1, wo demnächst Lagen 9a oder 9b (Fig. 8) usw. sowie 13 oder 13a usw. aufgetragen werden sollen, mit Metall, erfolgt eine zusätzliche Erhitzung auf eine Temperatur von (0,2 bis 0,4) T_1, wobei T_1 die Schmelztemperatur des Metalls der Stoßverbindung in °C ist. Der Teil 15 (Fig. 9) der Stoßverbindung 1 wird in Richtung der Auftragung der Lagen und in einer dazu senkrechten Richtung erwärmt. Die Abmessungen des zu erwärmenden Teiles 15 der Stoßverbindung werden unter der Bedingung einer maximalen Füllung des Raumes zwischen den Kanten 5 und 6 oder 5a, 6a usw. mit dem Metall der Lagen gewählt. Daraus folgt eine Reduzierung der Anzahl der Durchläufe und eine Erhöhung der Schweißleistung.

Ferner wird die Konzentration des Lichtbogens 4 nach der Ausbildung der Lage 13 (Fig. 7) auf der Oberseite der Stoßverbindung 1 um das 1,5- bis 2fache erhöht, wodurch die Energieabgabe an das Umgebungsmedium vermindert und die Erhitzung des Teiles 15 (Fig. 9) der Stoßverbindung dort gesteigert wird, wo die Lage gerade aufgetragen wird. Dies vergrößert seinerseits die Ungleichmäßigkeit der Erhitzung der Stoßverbindung 1 noch mehr und ruft eine Intensivierung der thermoplastischen Verformungen hervor.

Bei der Durchführung der Durchläufe mit einer geänderten Energie pro Längeneinheit gemäß der Kurve 11 (Fig. 4) wird der Lichtbogen 4 in der Tiefe der Nahtfuge in einer zur Schweißrichtung senkrechten Richtung verschoben, was den Vorgang der Abschmelzung der Kanten 5, 6 oder 5a, 6a usw. intensiviert und damit die Füllung des Raumes zwischen den Kanten mit Metall beschleunigt.

Bei der Durchführung der Durchläufe mit einer geänderten Energie pro Längeneinheit gemäß der Kurve 14 (Fig. 4) führt eine Abweichung des Lichtbogens 4 von der Mitte der Lage 13 oder 13a (Fig. 7) usw. zu einer Ausdehnung der Heizzone des Teiles 15 (Fig. 9) der Stoßverbindung 1, was den Verlauf der thermoplastischen Verformungen intensiviert.

Beispiel 1

Bei der Schweißung von Stößen bei Rohrleitungen mit einem Durchmesser von 108 mm und einer Wanddicke von 9 mm aus austenitischen Stählen mit nichtschmelzender Elektrode unter Argon wurden die Kanten wie folgt vorbearbeitet: der Winkel α seitens des Lichtbogens betrug 10°, der Winkel α_2 wurde nach der Formel berechnet

$$\alpha_2 = \operatorname{arctg} \frac{0{,}09 \sqrt{\frac{2 \cdot 5{,}4}{0{,}9}}}{1{,}3 \cdot 0{,}5} = \operatorname{arctg} 0{,}48 = 26^\circ,$$

α_1 wurde zweimal kleiner, d. h. gleich 13°, die Dicke δ_0 der Abstumpfung gleich 2,5 mm angenommen.

Die Elektrode wurde auf die ganze Tiefe der Nahtfuge abgesenkt, während der Abstand zwischen dem Elektrodenende und dem Stoß gleich 1 mm gewählt wurde. Es wurde ein Lichtbogen gezündet (gebildet) und ein erster Durchlauf mit einer vollständigen Durchschmelzung der Dicke der Abstumpfung bei einer Energie von $\frac{q_1}{v_1}$ = 11900 W/cm pro Längeneinheit ausgeführt. Dann wurde die Tiefe h_1 = 0,34 cm der Nahtfuge nach dem ersten Durchlauf gemessen. Nachher wurde die Energie pro Längeneinheit zur Durchführung eines zweiten Durchlaufes gemäß der Abhängigkeit (1) ermittelt:

$$\frac{q_2}{v_2} = (0{,}9 \text{ bis } 0{,}34) \cdot 10^4 \left[\frac{1{,}15 \cdot 0{,}9^2}{(0{,}9 \text{ bis } 0{,}29)^2} - \frac{2}{2 \cdot 5{,}4 \cdot 0{,}9}\right] =$$

14300 W/cm

Es wurde der zweite Durchlauf durchgeführt, worauf die Tiefe h_2 der Nahtfuge nach dem zweiten Durchlauf gemessen und die Energie pro Längeneinheit zur Verwirklichung eines dritten Durchlaufes gemäß einer ähnlichen Abhängigkeit $\frac{q_3}{v_3}$ usw. ermittelt wurden.

Nach der Durchführung eines vierten Durchlaufes, wo die Tiefe h_4 der Nahtfuge 0,25 cm betrug und deren Breite B = 0,30 cm war, wurde die Elektrode aus dem Bereich der Nahtfuge herausgeführt und über der Oberfläche der zu schweißenden Rohrleitungen symmetrisch um die Fugenkanten angeordnet. Dann wurden die Lichtbogenenergie pro Längeneinheit durch Stromerhöhung auf einen Wert von 18900 W/cm sprunghaft erhöht und ein fünfter Durchlauf vorgenommen, bei dem Stoßkanten unter Ausbildung einer Lage auf der Oberfläche der Verbindung ganz abgeschmolzen wurden. Nach der Ausführung des fünften

Durchlaufes wurde die Größe m des Meniskus gemessen, sie betrug 0,15 cm. Zur Durchführung eines sechsten Durchlaufes wurde der Wert der Energie pro Längeneinheit auf Grund der Abhängigkeit (II) ermittelt:

$$\frac{q_5}{v_5} = (0{,}9 \text{ bis } 0{,}15) \cdot 10^4 \left[\frac{3{,}5}{0{,}9} \text{ bis } \frac{6}{2 \cdot 5 , 4 \cdot 0{,}9} \right] = 20000 \text{ W/cm}$$

Es wurde der sechste Durchlauf ausgeführt, worauf die Größe m des Meniskus nach dem sechsten Durchlauf gemessen, die Energie pro Längeneinheit zur Durchführung eines siebenten Durchlaufes ausgehend von einer ähnlichen Abhängigkeit $\frac{q_7}{v_7}$ usw. bestimmt wurden.

Nach dem neunten Durchlauf verschwand der Meniskus, und die Nahtverstärkung machte 0,03 cm aus.

Nach der Durchführung der obengenannten Operationen ergab sich also eine gleich feste Schweißverbindung mit einer gleichmäßigen Nahtverstärkung nach dem Nahtumfang mit folgenden mechanischen Eigenschaften:

Festigkeitsgrenze, kp/mm^2	60,4 bis 67,4
Biegewinkel, °	180
Schlagzähigkeit, kpm/cm^2	12,4 bis 16,5

Beispiel 2

Die Schweißung der Stöße von Rohrleitungen mit einem Durchmesser von 108 mm und mit einer Dicke von 9 mm aus austenitischen Stählen mit nichtabschmelzender Elektrode unter Argon wurde analog zum Beispiel 1 durchgeführt, nur daß nach Abschluß des ersten Durchlaufes ein Teil der Stoßverbindung zusätzlich auf eine Temperatur von $T_1 = 400$ °C erwärmt wurde, bei der zu dieser Zeit die Lage aufgetragen wurde. Es wurde die Tiefe $h_1 = 0{,}325$ cm der Nahtfuge nach dem ersten Durchlauf gemessen, wobei der erste Durchlauf mit einer Energie von 11900 W/cm pro Längeneinheit durchgeführt wurde. Unter Berücksichtigung einer Verminderung der Tiefe der Nahtfuge nach dem ersten Durchlauf, d. h. einer Beschleunigung der Füllung des Raumes zwischen den Kanten mit Metall, betrug die Energie pro Längeneinheit zur Verwirklichung des zweiten Durchlaufes $\frac{q_2}{v_2} = 13100$ W/cm.

Nach der Durchführung des dritten Durchlaufes belief sich die Tiefe h_3 der Nahtfuge auf 0,28 cm und deren Breite auf B = 0,30 cm. Dann wurde die Lichtbogenenergie pro Längeneinheit auf einen Wert von 19150 W/cm sprunghaft geändert, es wurde ein vierter Durchlauf unter einer vollständigen Abschmelzung der Stoßkanten und unter Ausbildung einer Lage auf der Oberfläche der Verbindung durchgeführt. Nach der Durchführung des vierten Durchlaufes wurde die Größe m des Meniskus gemessen, die 0,15 cm betrug. Der Wert der Energie $\frac{q_5}{v_5}, \frac{q_6}{v_6}$ usw. pro Längeneinheit zur Durchführung eines fünften und der nachfolgenden Druckläufe wurde auf Grund der im Beispiel 1 aufgeführten Abhängigkeit (II) berechnet.

Nach dem achten Durchlauf verschwand der Meniskus, und die Nahtverstärkung betrug 0,03 cm.

Die Festigkeitswerte der erhaltenen Naht sind analog der im Beispiel 1 aufgeführten.

Die zusätzliche Erhitzung eines Teiles der Stoßverbindung führt also zu einer Verringerung der Anzahl der Durchläufe, einer Verkürzung der Schweißzeit für eine Stoßverbindung und folglich zu einer Erhöhung der Schweißleistung.

Beispiel 3

Die Schweißung der Stöße der Rohrleitungen erfolgte analog zum Beispiel 2, nur daß nach der Durchführung des vierten Durchlaufes, bei dem die Stoßkanten unter Ausbildung einer Lage auf der Oberfläche der Verbindung vollständig abgeschmolzen wurden, die Energiedichte um das 1,5fache durch Formänderung des wirksamen Teiles der nichtabschmelzenden Elektrode vergrößert wurde. Nach Beendigung des fünften Durchlaufes wurde die Größe m des Meniskus gemessen, die 0,04 cm betrug, während die Größe m des Meniskus nach dem fünften Durchgang im Beispiel 2 0,06 cm ausmachte. Zur Durchführung des sechsten Durchlaufes betrug die Energie $\frac{q_6}{v_6}$ 22900 W/cm pro Längeneinheit.

Nach dem siebenten Durchlauf verschwand der Meniskus, während die Nahtverstärkung 0,03 betrug. Die Festigkeitswerte der erhaltenen Naht sind ähnlich wie im Beispiel 1.

Die Vergrößerung der Konzentration der Lichtbogenenergie hat also eine noch größere Verringerung der Anzahl der Durchläufe, eine Verkürzung der Schweißzeit für eine Stoßverbindung und eine entsprechende Steigerung der Schweißleistung zur Folge.

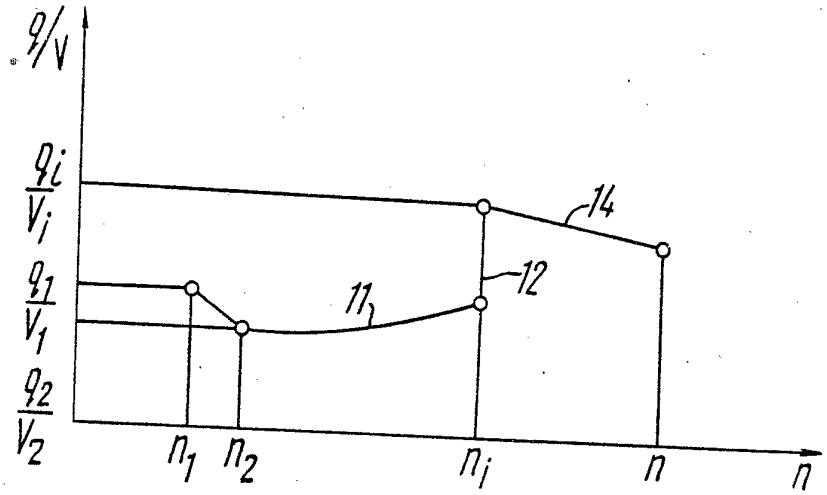


FIG. 4

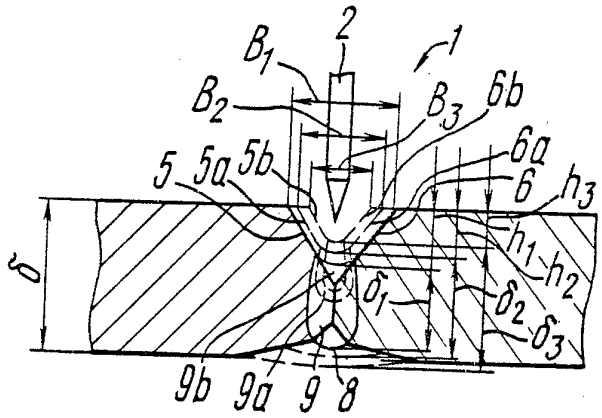


FIG. 5

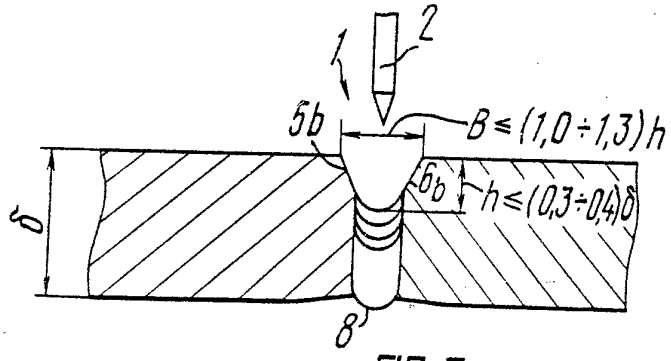


FIG. 6

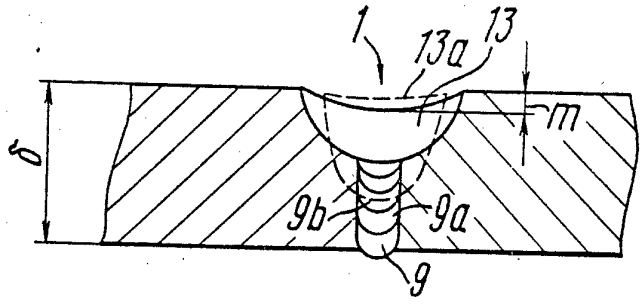


FIG. 7

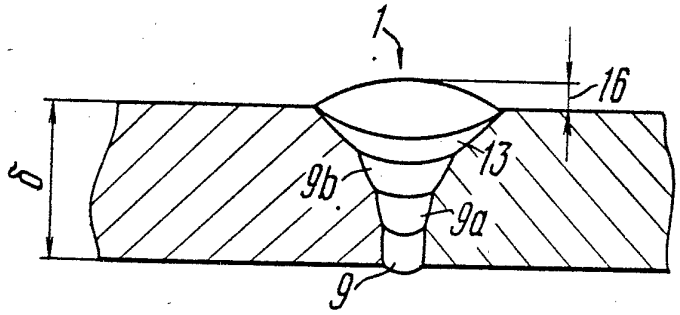


FIG. 8

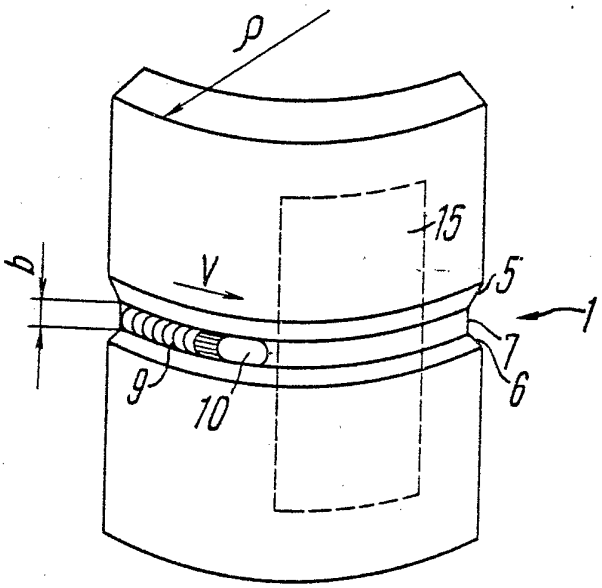


FIG. 9