



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 601 31 325 T2 2008.09.04

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 166 940 B1

(51) Int Cl.⁸: **B23K 9/16** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: 601 31 325.9

(96) Europäisches Aktenzeichen: 01 401 501.0

(96) Europäischer Anmeldetag: 11.06.2001

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 02.01.2002

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 14.11.2007

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 04.09.2008

(30) Unionspriorität:
0008018 22.06.2000 FR

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR

(73) Patentinhaber:
L'Air Liquide Société Anonyme pour l'Etude et
l'Exploitation des Procédés Georges Claude,
Paris, Cedex, FR

(72) Erfinder:
Fortain, Jean-Marie, 95520 Osny, FR; Lefebvre,
Philippe, 95310 Saint Quen l'Aumone, FR; Mouton,
Jean-Yves, 95800 Cergy Pontoise, FR; Plottier,
Gerard, 93380 Pierrefitte, FR

(74) Vertreter:
derzeit kein Vertreter bestellt

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum MIG Schweißen von Al Legierungen mit Ar/He/O₂-Schutzgas**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum MIG-(Metal Inert Gas)Lichtbogen schweißen von Aluminium und Aluminiumlegierungen mit Impulslichtbogen oder mit Sprühlichtbogen, d. h. mit axialer Zerstäubung, ausgenommen ein Sprühlichtbogenverfahren mit moduliertem Strom.

[0002] Das MIG-Lichtbogenschweißverfahren findet eine breite Anwendung in der Industrie, einschließlich jener des Aluminiumschweißens.

[0003] Schutzgase spielen eine wesentliche Rolle hinsichtlich der Leistungsfähigkeit dieses Verfahrens.

[0004] So erlaubt Argon keine hohen Schweißgeschwindigkeiten und kann bei einem automatischen Schweißen jenseits von 500 A Lichtbogeninstabilitäten verursachen. Die charakteristische Form der beschränkten Einbrände, die mit einem Sprühlichtbogen unter Argon erhalten werden, lässt sich schlecht mit einem auf gegenseitiger Durchdringung beruhenden Schweißen vereinbaren.

[0005] Zudem erlauben die Gemische aus Argon und Helium (nachstehend Ar/He) und nur Helium, die Tiefe des Einbrandes und seine Wurzelbreite zu erhöhen, und können folglich ermöglichen, auf teure Vorbehandlungen zu verzichten, und zwar umso mehr, als der Heliumanteil in den Ar/He-Gemischen hoch ist.

[0006] Anders ausgedrückt: Bei gleichbleibender Dicke ermöglicht das Helium folglich Schweißgeschwindigkeiten, die desto höher sind, je höher sein Gehalt ist.

[0007] Wenn auch die Dichte der Schweißraupen durch die Gegenwart von Helium im Allgemeinen verbessert wird, geschieht dies zum Schaden des Aussehens der Schweißraupen, die weniger glänzend als unter reinem Argon sind.

[0008] Die Ar/He-Gemische weisen folglich, was die Qualität und die Produktivität sowohl beim manuellen Schweißen (beispielsweise bei einem Gemisch vom Typ Ar + 20% He) als auch beim automatischen Schweißen (beispielsweise bei Gemischen vom Typ Ar + 50% bis 70% He) betrifft, einen bemerkenswerten Vorteil auf, dem jedoch nicht zu vernachlässigende Kosten gegenüberstehen, die mit dem Heliumgehalt verknüpft sind.

[0009] Bei Anwendungen, die nicht unbedingt diese beiden Kriterien erfüllen müssen, kann es sinnvoll sein, sich nach anderen Typen von Gemischen umzuschauen.

[0010] So schlägt das Dokument EP-A-639 423 für die TIG- und MIG-Verfahren vor, ein Schweißgas vom Typ Argon oder Argon/Helium zu verwenden, das unter anderem 100 bis 7000 ppm, bezogen auf das Volumen, CO₂ und/oder O₂ enthält.

[0011] Außerdem schlägt das Dokument DE-A-4 241 982 vor, Argon oder ein Ar/He-Gemisch zu verwenden, dem unter anderem 80 bis 250 ppm, bezogen auf das Volumen, Stickstoff beigemischt sind.

[0012] Das Dokument EP-A-442 475 empfiehlt ein Schweißen mit einer abschmelzbaren Elektrode unter Verwendung eines Gasgemisches aus 0,5 bis 1,25 Vol.-% Kohlendioxid und 30 bis 40% Helium, wobei der Saldo Argon ist.

[0013] Das Dokument US-A-4,071,732 zielt auf ein Gemisch ab, das aus einem Inertgas gebildet ist, das mindestens 30% Kohlendioxid oder mindestens 5% Sauerstoff enthält; die Beispiele dieses Dokuments stellen jedoch nur Gemische aus Argon und Kohlendioxid mit Gehalten in der Größenordnung von 5 oder 15% dar.

[0014] Es ist hervorzuheben, dass vom industriellen Standpunkt aus betrachtet die Steigerung der Leistungsfähigkeit bei keinem dieser Verfahren völlig zufriedenstellend ist.

[0015] Außerdem ist bei einem modulierten MIG-Schweißen mit Sprühlichtbogen, d. h. bei Anwendung einer Modulation des Schweißstroms, schon empfohlen worden, ein Schutzgas oder ein Schutzgasgemisch, gebildet aus Argon, Helium oder ihren Gemischen, dem 0,01% bis 1,80% Kohlendioxid und/oder Sauerstoff beigemischt sind, zu verwenden, wie in EP-A-909 604 beschrieben ist. Jedoch werden in diesem Fall Strommodulationen mit einer Frequenz von weniger als 60 Hz auf den Strom angewendet, um das Schweißbad zu entgasen, damit möglicherweise darin enthaltene Gaseinschlüsse, insbesondere diffusionsfähiger Wasserstoff, ent-

fernt werden. Die Verfahren des strommodulierten MIG-Schweißens mit Sprühlichtbogen werden nämlich angewendet, wenn man eine hohe Qualität der Schweißverbindung erhalten möchte, ohne dass jedoch eine tatsächliche Notwendigkeit besteht, eine hohe Schweißgeschwindigkeit erzielen zu müssen.

[0016] Folglich ist das Problem, das sich stellt, die bekannten MIG-Schweißverfahren, die keine Modulation des Schweißstroms anwenden, insbesondere die nicht modulierten MIG-Verfahren mit Sprühlichtbogen, d. h. ohne Modulation des Schweißstroms, sowie jene mit Impulslichtbogen, so zu verbessern, dass hohe Leistungsfähigkeiten hinsichtlich der Produktivität und der Schweißgeschwindigkeit erhalten werden können.

[0017] Die nicht modulierten MIG-Verfahren mit Sprühlichtbogen (ohne Modulation des Stroms) und jene mit Impulslichtbogen sind nämlich viel besser geeignet, wenn nicht die Qualität, d. h. das Aussehen der Schweißstellen, sondern vielmehr die Produktivität verbessert werden soll.

[0018] Bisher sind die nicht modulierten oder gepulsten MIG-Verfahren für das Schweißen von Aluminium oder Aluminiumlegierungen nicht oder wenig verwendet worden, weil der Gasschutz Sauerstoff enthält.

[0019] Es lässt sich nämlich gewöhnlich feststellen, dass die Gegenwart von Sauerstoff im Gasschutz einen ungünstigen Einfluss auf die Schweißnaht ausüben kann, weil der Sauerstoff, wenn er im Gasschutz enthalten ist, sich leicht mit Aluminiumatomen verbinden kann und daraus feste Einschlüsse aus Aluminiumoxid (Al_2O_3) in der Schweißnaht resultieren, die sich negativ auf die mechanischen Eigenschaften der Schweißnaht auswirken. Dies ist übrigens für hohe Gehalte an Sauerstoff, d. h. Gehalte von mehr als 2% Sauerstoff, sowie für hohe Gehalte an Kohlendioxid, d. h. ebenfalls für Gehalte von mehr als 2%, verifiziert worden.

[0020] Umgekehrt führt jedoch die Gegenwart von Sauerstoff in den Schutzgasströmen zu Produktivitätsleistungen, die für die Industrie akzeptabel sind.

[0021] Daraus folgt dann, dass das Problem darin besteht, ein Verfahren zum MIG-Schweißen von Aluminium und Aluminiumlegierungen vorzuschlagen, das ermöglicht, eine hohe und für die Industrie akzeptable Produktivität und gleichzeitig einen geringen Anteil Aluminiumoxideinschlüsse in der Schweißnaht, ohne größere oder merkliche Auswirkungen auf die mechanischen Eigenschaften der Schweißverbindungen, zu erzielen.

[0022] Die durch die vorliegende Erfindung geschaffene Lösung beruht dann auf einem Verfahren zum MIG-Schweißen von Aluminium und Aluminiumlegierungen mit Sprühlichtbogen ohne Strommodulation oder mit Impulslichtbogen bei Anwendung eines Gasschutzes auf wenigstens einen Teil der Schweißzone, dadurch gekennzeichnet, dass der Gasschutz ein Gasgemisch ist, das aus 0,01% bis 1,80% Sauerstoff und 20% bis 98,2% Helium besteht, wobei der eventuelle Saldo aus Argon besteht.

[0023] Weitere Merkmale des Verfahrens der Erfindung sind nachstehend angegeben:

- Das Schutzgas enthält 0,9% bis 1,80% Sauerstoff, 15% bis 98,20% Helium, wobei der Saldo Argon ist.
- Das Schutzgasgemisch enthält mindestens 1% Sauerstoff, vorzugsweise mindestens 1,1% Sauerstoff, insbesondere noch mindestens 1,2% Sauerstoff.
- Das Schutzgasgemisch enthält höchstens 1,70% Sauerstoff, vorzugsweise höchstens 1,65% Sauerstoff.
- Es wird massiver Schweißdraht benutzt.
- Die Schweißgeschwindigkeit ist zwischen 0,25 m/min und 1,20 m/min, vorzugsweise zwischen 0,60 und 1 m/min.
- Die Drahtgeschwindigkeit ist zwischen 2,5 m/min und 20 m/min, vorzugsweise zwischen 4 m/min und 17 m/min.
- Die mittlere Schweißstromstärke ist zwischen 40 A und 450 A, und/oder wobei die mittlere Schweißspannung zwischen 15 V und 40 V ist.
- Das Verfahren ist ein Impulslichtbogen-Verfahren und/oder die Schweißstromstärke ist zwischen 120 A und 350 A und/oder die mittlere Schweißspannung ist zwischen 20 und 30 V.
- Das Verfahren ist ein Sprühlichtbogen-Verfahren und/oder die Schweißstromstärke ist zwischen 180 A und 450 A und/oder die mittlere Schweißspannung ist zwischen 20 und 39 V.

[0024] Die vorliegende Erfindung beruht folglich auf einer präzisen Steuerung des Sauerstoffgehalts im Helium oder einem Gemisch aus Argon und Helium, wobei der Sauerstoffgehalt 1,80% maximal nicht überschreiten darf, wobei das derart gebildete Gasgemisch den Gasschutz bildet, der bei der Durchführung des MIG-Verfahrens angewendet wird.

[0025] Es wird unterstrichen, dass jedes MIG-Verfahren mit Sprühlichtbogen und Modulation des Schweiß-

stroms von der Erfindung ausgeschlossen ist.

[0026] Durch die nachstehend zur Veranschaulichung gegebenen, nicht beschränkenden Beispiele, deren Ergebnisse in den beigefügten Figuren schematisch dargestellt sind, wird sich die Erfindung besser verstehen lassen.

Beispiele

[0027] Um die Wirksamkeit des erfindungsgemäßen MIG-Verfahrens aufzuzeigen, wurden mehrere Vergleichsversuche durchgeführt.

[0028] Im Rahmen dieser Versuche wurden Aluminiumteile (Sorten 5000 und 6000 gemäß den Normen NFEN 485, 487, 515 und 573) entsprechend einem nicht modulierten MIG-Verfahren mit Sprühlichtbogen und einem MIG-Verfahren mit Impulslichtbogen unter Verwendung eines Gasschutzes aus Argon, dem 1 bis 1,5% O₂ beigemischt waren, geschweißt.

[0029] Der Stromgenerator ist ein Generator 480 TR16, der von der Firma LA SOUDURE AUTOGENE FRANCAISE vertrieben wird.

[0030] Der Schweißdraht, der als Auftragmetall verwendet wird, ist in jedem Fall ein Draht mit einem Durchmesser von 1,2 mm, vom Typ 5356 (gemäß den Normen AWS A5.10 oder NF A50.403).

[0031] Die Aluminiumteile werden vor dem Schweißen durch mechanisches Schaben vorbehandelt.

[0032] Die anderen Schweißparameter sind in der nachstehenden Tabelle I angegeben. Es repräsentieren:

- U_{Draht}: die Vorschubgeschwindigkeit des Schweißdrahts,
- I_{Sp}: die Stärke des Spitzenstroms,
- I_G: die Grundstromstärke
- I_{Mittel}: die mittlere Stromstärke,
- U_{Sp}: die Spitzenspannung
- U_{Mittel}: die mittlere Spannung,
- F_P: die Strompulsationsfrequenz (beim MIG-Schweißen in der gepulsten Betriebsweise),
- T_P: die Strompulsationsdauer (beim MIG-Schweißen in der gepulsten Betriebsweise)

Tabelle I: Schweißparameter für die beiden Übertragungsweisen

Betriebsweise	Sprühlichtbogen	Impulslichtbogen
Sorte des Aluminiumteils	5000	5000
Dicke (mm)	6	6
U _{Draht} (m/min)	12, 5	9
I _{Sp} (A)	-	330
I _G (A)	-	110
I _{Mittel} (A)	220 bis 240	154 bis 162
U _{Sp} (V)	-	28
U _{Mittel} (V)	21 bis 23	20 bis 23
F _P (Hz)	-	155
T _P (ms)	-	1,6

[0033] Die erhaltenen Ergebnisse sind nachstehend, nach einer Einschätzung der Leistungsfähigkeit hinsichtlich der Produktivität (Schweißgeschwindigkeit) und der Nahtqualität (Kompaktheit und Aussehen der Schweißraupe) und der mechanischen Leistungsfähigkeit angegeben.

[0034] In der folgenden Tabelle II sind die für die Sorte 5000 bestimmten Geschwindigkeitserhöhungen im Verhältnis zu den Schweißgeschwindigkeiten für verschiedene Argon/Helium-Gemische und mit oder ohne

Beimischung von O₂ angegeben, und zum Vergleich sind auch die Ergebnisse angegeben, die mit Argon unter Zugabe von O₂ erhalten wurden. Diese Ergebnisse sind in [Fig. 1](#) schematisch dargestellt.

[0035] Es lässt sich folglich feststellen, dass bei identischen O₂-Beimischungen der Zugewinn an Leistungsfähigkeit bezüglich der Schweißgeschwindigkeit und des Einbrandes für ein Ar/He-Gemisch und für nur Argon äquivalent bleibt.

Tabelle II: Zugewinn an Leistungsfähigkeit bezüglich der Schweißgeschwindigkeit für die Sorte 5000 im Verhältnis zu einem Ar/He-Gemisch ohne O₂-Beimischung:

Betriebsweise	Sprühlichtbogen				Impulslichtbogen			
Gas	Ar	Ar + 20% He	Ar + 50% He	Ar + 70% He	Ar	Ar + 20% He	Ar + 50% He	Ar + 70% He
0% O ₂	0,56	0,7	0,65	0,7	0,35	0,4	0,44	0,45
+ 1% O ₂	0,7	0,88	n. b.	n. b.	0,42	0,49	n. b.	n. b.
	25%	25,7%	n. b.	n. b.	20%	22,5%	n. b.	n. b.
+ 1,5% O ₂	0,78	0,93	0,86	0,93	0,45	0,52	0,54	0,55
	39,2%	32,8%	32,3%	32,8	28,5%	30%	22,7%	22,2%

Schweißgeschwindigkeit (Vs) – in m/min

Geschwindigkeitszugewinn: in %

n. b.: nicht bestimmt

[0036] Anhand der Tabelle II stellt man eine Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit für eine Schweißverbindung bei vollständigem Einbrand bei einer Dicke von 6 mm fest.

[0037] Außerdem wurden, um die Leistungsfähigkeit hinsichtlich der Nahtqualität (Kompaktheit und Aussehen der Schweißraupe) zu beurteilen, Durchstrahlungsprüfungen an den Teilen der Sorte 5000 durchgeführt. Diese haben keine Hinweise zutage gebracht, die von jenen, die üblicherweise beim MIG-Schweißen mit Argon oder Ar/He-Gemischen angetroffen werden, verschieden sind.

[0038] Ergänzende makrographische Probenentnahmen haben ermöglicht, durch ein einfaches Polieren Einschluszbereiche von geringerer Größe (in der Größenordnung von 0,01 mm), die unterschiedlich verteilt und orientiert waren, gut sichtbar zu machen.

[0039] Diese Bereiche sind mit dem Rasterelektronenmikroskop als Aluminiumoxid-(Al₂O₃)Bereiche identifiziert worden. Außerdem unterscheidet sich das Aussehen der Schweißraupen, die mit den Ar/He/O₂-Gemischen erhalten wurden, wesentlich von dem der mit einem Ar/He-Gemisch verwirklichten: Die Schweißraupen weisen je nach zurückbehaltenem O₂-Gehalt eine schwärzliche Oberflächenablagerung auf, die sich durch Bürsten oder mit Hilfe eines Lappens beseitigen lässt.

[0040] Ferner sind die mechanischen Eigenschaften anhand von Zug- und Faltversuchen an planierten Querproben beurteilt worden. Die Zugergebnisse sind in der [Fig. 2](#) dargestellt, wobei die Abszisse die O₂-Gehalte in drei Ar/He-Gemischen unterschiedlicher Zusammensetzung darstellt und die Ordinate die Zugfestigkeitswerte (Rm, in MPa) von Verbindungen der Sorte 5000 darstellt.

[0041] Die entsprechenden Materialwerte und Verbindungs- bzw. Schweißnahtfaktoren (Festigkeit des geschmolzenen Metalls/Festigkeit des Grundmetalls) sind in der Tabelle III angegeben.

[0042] Es ist keine bedeutende Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften der Schmelzzone in Abhängigkeit von der Erhöhung des O₂-Gehalts zu verzeichnen. Die größte Abnahme von 7 N/mm² (d. h. -2,6%), die bei einer Betriebsweise mit Sprühlichtbogen unter einem Ar/He-Gemisch registriert wurde, bleibt geringer als jene, die für die gleiche Übertragungsweise unter Ar/O₂ registriert wurde, nämlich 15 N/mm² (d. h. -5,5%).

Tabelle III: Mechanische Eigenschaften von Verbindungen der Serie 5086 bei Ar/He-Gemischen mit O₂-Beimischung

Betriebsweise		Sprühlichtbogen			Impulslichtbogen		
Gas		Ar + 20% He	Ar + 50% He	Ar + 70% He	Ar + 20% He	Ar + 50% He	Ar + 70% He
0% O ₂	Rm MPa	271,12	263,2	266,47	265,03	266	264,03
	Verb.-Fakt	0,86	0,83	0,84	0,84	0,84	0,83
+ 1% O ₂	Rm MPa	269,92	n. b.	n. b.	267,05	n. b.	n. b.
	Verb.-Fakt	0,85	n. b.	n. b.	0,84	n. b.	n. b.
+ 1,5% O ₂	Rm MPa	264,72	260,12	259,71	266,61	266,4	261,68
	Verb.-Fakt	0,84	0,82	0,82	0,84	0,84	0,83
	MB Rm MPA Ist/ge- währleistet	315/275					

[0043] Alle Zugproben (Dicke 6 mm) weisen einen systematischen Bruch im geschmolzenen Metall auf, was für die 5000er Serie ein normales Verhalten darstellt. An ihren Bruchmustern sind Bereiche von verteilten, feinen, schwarzen Einschlüssen nachgewiesen worden. Diese Hinweise bestätigen die Ergebnisse der vorhergehenden makrographischen Untersuchungen. Sie können in Abhängigkeit vom O₂-Gehalt immer größer und dichter werden, aber, wie oben erwähnt, ihr Einfluss ist weder für die mechanischen Eigenschaften der Verbindungen, noch für die Verformbarkeit bedeutsam, da nun einmal die Ergebnisse der Faltversuche zufriedenstellend sind (keinerlei Risse nach 180°-Beanspruchung).

[0044] Daraus ergibt sich folglich ([Fig. 1](#)), dass bei einer völlig gleichen Beimischung von O₂ der Zugewinn an Leistungsfähigkeit (größere Tiefe des Einbrandes oder Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit) bei einem Ar/He-Gemisch mit dem bei nur Argon vergleichbar bleibt.

[0045] Außerdem ermöglicht das Beimischen von O₂ in einer kontrollierten Menge (weniger als 2%) von einer bestimmten Vorbehandlung der zu schweißenden Teile bis zu Dicken von 6 mm, wie etwa einem Abschrägen und Anordnen mit Zwischenraum, abzusehen.

[0046] Zu diesen Produktivitätszugewinnen sind auch noch zwei weitere wesentliche, die Funktion betreffende Vorteile hinzuzufügen, nämlich die Leichtigkeit des Zündens und die Stabilität des Lichtbogens in der gewählten Betriebsweise. Ein Vergleichsbeispiel, das in [Fig. 3](#) schematisch dargestellt ist, zeigt anhand der Aufzeichnungen die wesentliche Verbesserung auf, die aus der Stabilität des Stroms bei der Betriebsweise mit Sprühlichtbogen unter einem Ar/He/O₂-Gemisch im Verhältnis zu einer Betriebsweise mit Sprühlichtbogen unter Ar/He (Heliumgehalt in beiden Fällen 20 bis 50%), d. h. ohne Beimischung von O₂, erhalten wird, wie durch die Vergleichsbeispiele der [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) gezeigt ist, die anhand der Labview-Aufzeichnungen die Verbesserung der Stabilität des Stroms in der Betriebsweise mit Sprühlichtbogen für ein Ar/He-Gemisch mit Sauerstoffbeimischung aufzeigen.

[0047] Diese Vorteile sind nicht nur für reines Aluminium klar herausgestellt worden, sondern auch für die Aluminiumlegierungen der 5000er und 6000er Serien.

Patentansprüche

1. Verfahren zum MIG-Schweißen von Aluminium und Aluminiumlegierungen mit Sprühlichtbogen ohne Strommodulation oder mit Impulslichtbogen, bei Anwendung eines Gasschutzes auf wenigstens einen Teil der Schweißzone, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Gasschutz ein Gasgemisch ist, das aus 0,8 Vol.-% bis 1,80 Vol.-% Sauerstoff und 15 Vol.-% bis 98,20 Vol.-% Helium besteht, wobei der eventuelle Saldo ein Argonvolumen darstellt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Schutzgas 0,9 Vol.-% bis 1,80 Vol.-% Sauerstoff, 15 Vol.-% bis 98,20 Vol.-% Helium enthält und der Saldo Argon ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Schutzgasgemisch mindestens 1 Vol.-% Sauerstoff, vorzugsweise mindestens 1,1 Vol.-% Sauerstoff, insbesondere noch mindestens 1,2 Vol.-% Sauerstoff enthält.
4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Schutzgasgemisch höchstens 1,7 Vol.-% Sauerstoff, vorzugsweise höchstens 1,65 Vol.-% Sauerstoff enthält.
5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein massiver Schweißdraht benutzt wird.
6. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Schweißgeschwindigkeit zwischen 0,25 m/min und 2 m/min, vorzugsweise zwischen 0,60 und 1,5 m/min ist.
7. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Drahtgeschwindigkeit zwischen 2,5 m/min und 25 m/min, vorzugsweise zwischen 4 m/min und 20 m/min ist.
8. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die mittlere Schweißstromstärke zwischen 40 A und 450 A ist, und/oder dadurch, dass die mittlere Schweißspannung zwischen 15 V und 40 V ist.
9. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass es ein Impulslichtbogen-Verfahren ist, und/oder dadurch, dass die Schweißstromstärke zwischen 120 A und 350 A ist, und/oder dadurch, dass die mittlere Schweißspannung zwischen 19 und 32 V ist.
10. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass es ein Sprühlichtbogen-Verfahren ist, und/oder dadurch, dass die Schweißstromstärke zwischen 180 A und 450 A ist, und/oder dadurch, dass die mittlere Schweißspannung zwischen 19 V und 39 V ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

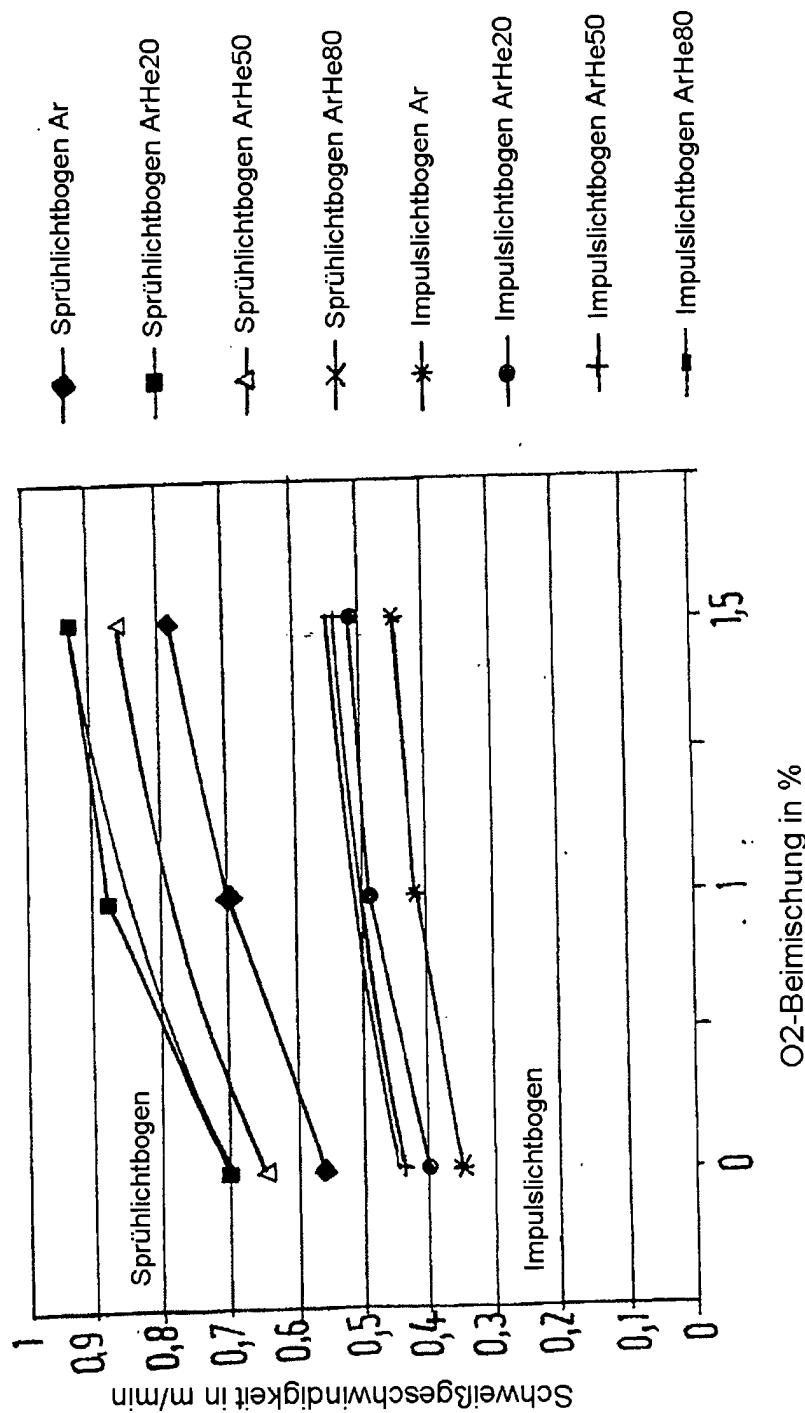
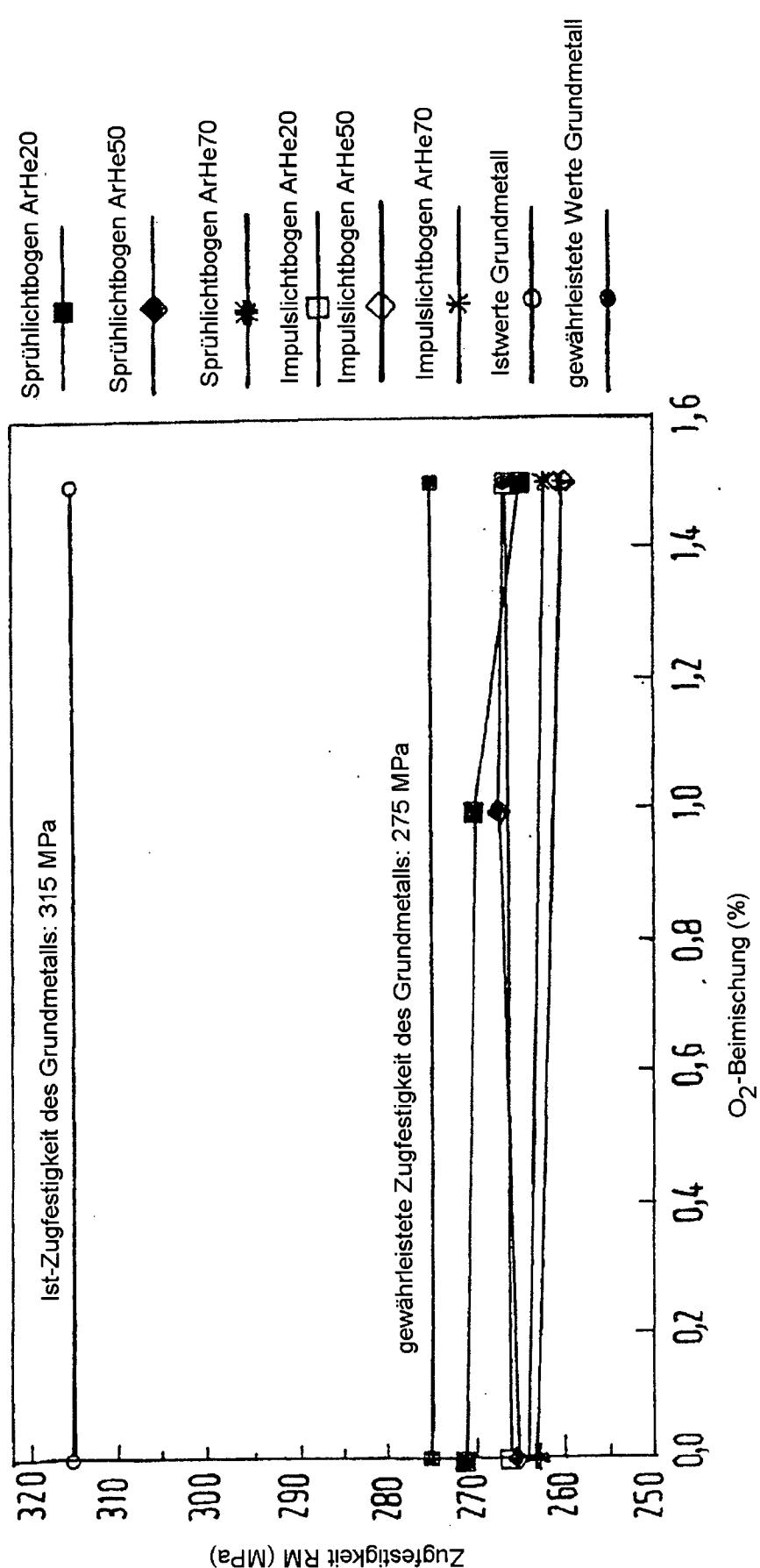
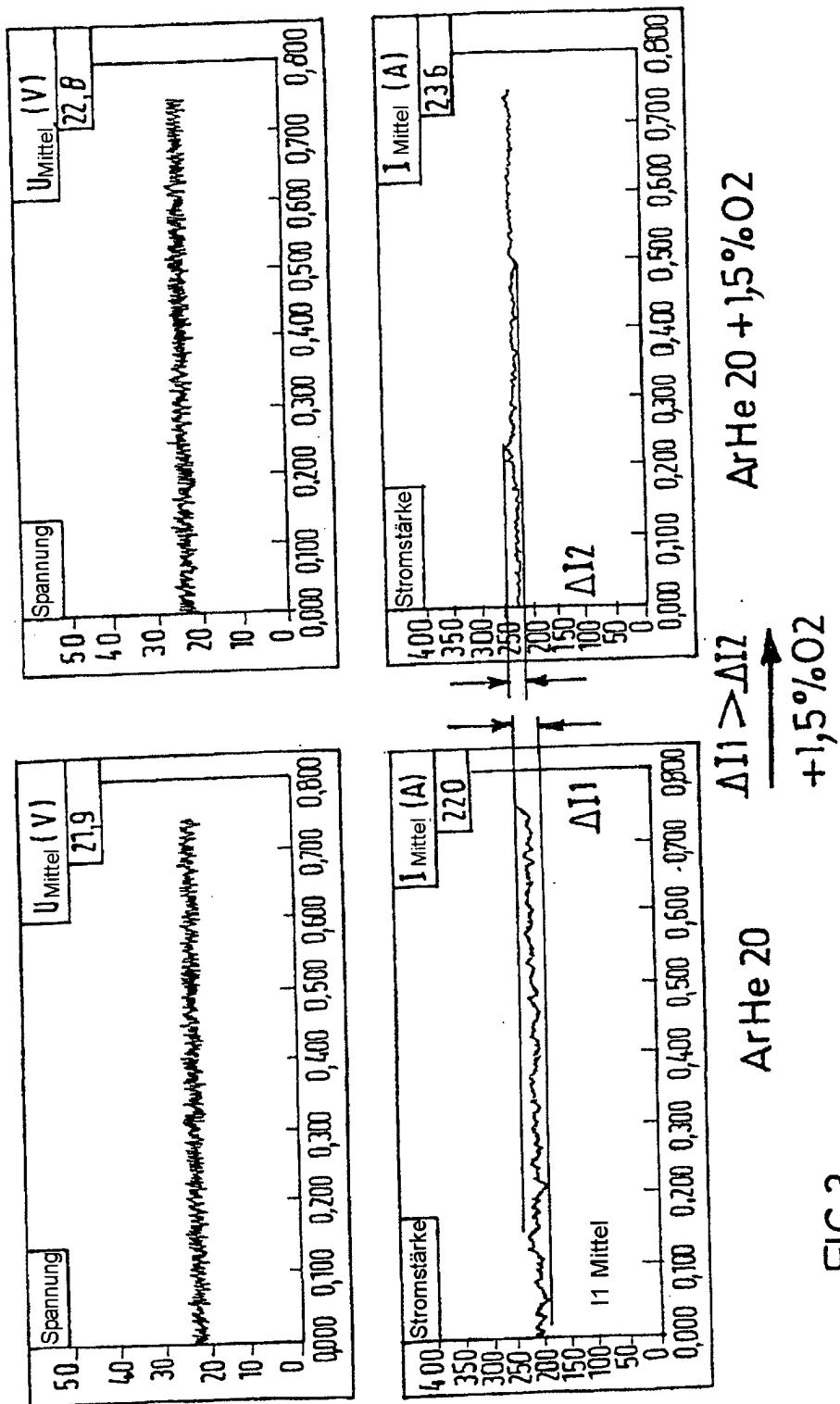
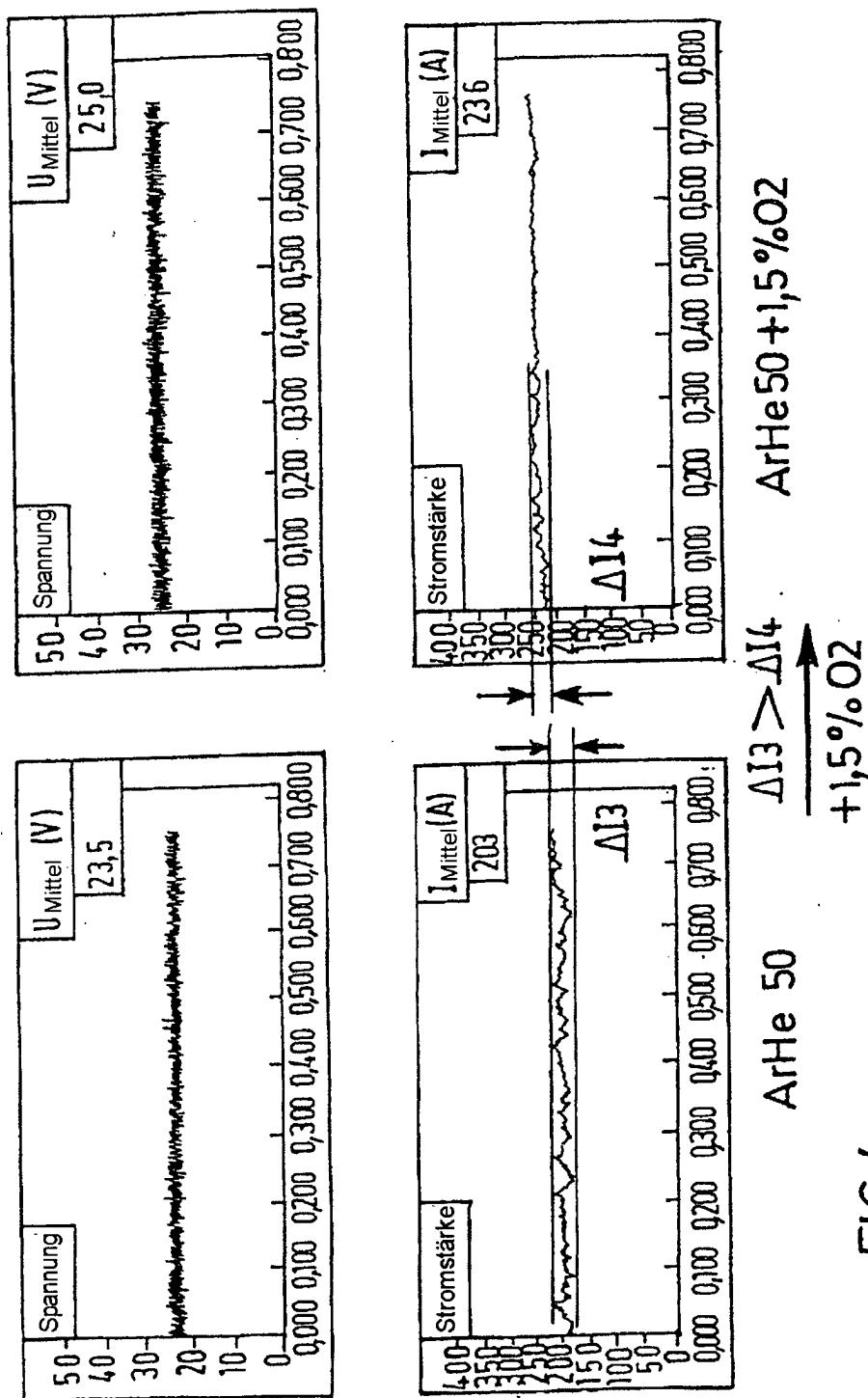


FIG.1

FIG.2

FIG.3

FIG.4