TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

Anlagentechnische Aspekte der Plasma-MIG-Technologie

Von der Fakultät für Maschinenbau der
TECHNISCHEN UNIVERSITÄT CHEMNITZ
genehmigte

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. Mario Kusch
aus Chemnitz

Chemnitz, im Oktober 2002

Schriftenreihe Fügetechnik / Schweißtechnik

Band 2/2003

Mario Kusch

Anlagentechnische Aspekte der Plasma-MIG-Technologie

Shaker Verlag
Aachen 2003

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Kusch, Mario:
Anlagentechnische Aspekte der Plasma-MIG-Technologie / Mario Kusch.
Aachen : Shaker, 2003
(Schriftenreihe Fügetechnik / Schweißtechnik ; Bd. 2003,2)
Zugl.: Chemnitz, Techn. Univ., Diss., 2002
ISBN 3-8322-1796-7

Copyright Shaker Verlag 2003
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-1796-7
ISSN 1434-7393

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Inhaltsverzeichnis

Verwendete Formelzeichen , Abkürzungen und Symbole IV
1 Einleitung 1
2 Prinzip, Einordnung und Vorteile des Plasma-MIG-Schweißverfahrens 3
3 Ziele der vorliegenden Arbeit 4
4 Stand der Technik 5
4.1 Allgemeines 5
4.2 Plasma-MIG-Schweißbrenner 5
4.3 Stromquellenkonzepte zum Plasma-MIG-Schweißen 6
4.4 Zündung des Lichtbogens 7
4.5 Weitere anlagentechnische Entwicklungen 8
5 Stromquellentechnik 9
5.1 Allgemeines 9
5.2 Elektrisches Prozessmodell 9
5.2.1 Potenzialverteilung in Lichtbögen an nichtabschmelzenden Elektroden 9
5.2.2 Potenzialverteilung in Lichtbögen an abschmelzenden Elektroden 10
5.2.3 Potenzialverteilung im Plasma-MIG-Betrieb 11
5.2.3.1 Zündung des Plasmalichtbogens mit dem MIG-Lichtbogen 11
5.2.3.2 Zündung des MIG-Lichtbogens im Plasmalichtbogen 13
5.2.3.3 Stationärer Plasma-MIG-Lichtbogen 16
5.2.3.3.1 Allgemeines 16
5.2.3.3.2 Pluspolung beider Elektroden 17
5.2.3.3.3 Minuspolung beider Elektroden 18
5.2.3.3.4 gegensinnige Polung der Elektroden 20
5.3 Betriebsarten des Plasma-MIG-Prozesses 20
5.3.1 Drahtelektrode stromlos, Plasmaelektrode Gleichstrom 20
5.3.2 beide Elektroden mit Gleichstrom 21
5.3.3 eine Elektrode mit Gleichstrom, eine Elektrode mit Wechselstrom 21
5.3.4 beide Elektroden mit Wechselstrom 22
5.3.5 eine Elektrode mit Impulsstrom 23
5.3.6 beide Elektroden mit Impulsstrom 24
5.4 Regelungsart der Stromquellen 25
5.4.1 Allgemeines 25
5.4.2 beide Stromquellen stromgeregelt 26
5.4.3 beide Stromquellen spannungsgeregelt 26
5.4.4 MIG-Stromquelle spannungsgeregelt, Plasma-Stromquelle stromgeregelt 27
5.4.5 MIG-Stromquelle stromgeregelt, Plasma-Stromquelle spannungsgeregelt 27

5.5 Anforderungen an Stromquellen beim Plasma-MIG-Schweißen 28
5.5.1 Plasma-Stromquelle 28
5.5.2 MIG-Stromquelle 28
6 Prozessablaufsteuerung 31
6.1 Allgemeines 31
6.2 Steuerung des Zündablaufs 31
6.2.1 Plasmalichtbogenzündung durch eine Hochfrequenzzündeinheit 31
6.2.2 Plasmalichtbogenzündung durch den MIG-Lichtbogen 32
6.2.3 Plasmalichtbogenzündung über einen Pilotlichtbogen 33
6.3 Steuerung während des Schweißens 34
6.4 Gestaltung der Benutzeroberfläche 35
7 Schweißbrenner 37
7.1 Allgemeines 37
7.2 Grundlegende Konstruktionsprinzipien 37
7.2.1 Brenner mit Plasma-Stiftelektrode 37
7.2.2 Brenner mit Plasma-Ringelektrode 37
7.3 Elektrische Isolation von Anlagenkomponenten 38
7.3.1 Allgemeines 38
7.3.2 Anwendung von Hochspannungsimpulsen zur Lichtbogenzündung 38
7.3.3 Stromleitung über den Kühlkreislauf 41
7.3.4 Konstruktive Varianten für die Isolationskomponenten 42
7.4 Gasführung 43
7.4.1 Allgemeines 43
7.4.2 Kaltgasuntersuchungen 44
7.4.2.1 Zündfähigkeit und Lichtbogenausbildung 44
7.4.2.2 Massestromverteilung bei Außengaszuführung 48
7.4.2.3 Massestromverteilung bei Innengaszuführung 50
7.4.3 Untersuchungen im reinen Plasma-Lichtbogen-Betrieb 53
7.4.3.1 Allgemeines 53
7.4.3.2 Einfluss des Fokusdüsendurchmessers DF auf die Lichtbogenausbildung 53
7.4.3.3 Einfluss der Fokussierlänge LF auf die Lichtbogenausbildung 54
7.4.3.4 Einfluss der Plasmastromstärke auf die Lichtbogenausbildung 55
7.4.3.5 Einfluss des Arbeitsgasmassestromes auf die Lichtbogenausbildung 56
7.4.3.6 Einfluss eines zweiten Gasstromes auf die Lichtbogenausbildung 57
7.4.4 Untersuchungen im Plasma-MIG-Betrieb 58
7.4.4.1 Allgemeines 58
7.4.4.2 Einfluss des MIG-Lichtbogens auf den Plasmalichtbogen 58
7.4.4.3 Einfluss der Fokussierdüsengeometrie auf die Lichtbogenausbildung 59
7.4.4.4 Einfluss eines zweiten Gasstromes auf die Lichtbogenausbildung 60

7.5 Kühlsystem des Schweißbrenners 61
7.5.1 Berechnungsgrundlagen 61
7.5.2 Konstruktive Varianten 66
7.5.2.1 Kühlung der Plasma-Elektrode 66
7.5.2.2 Kühlung der MIG-Komponente 68
7.5.2.3 Kühlung der Fokussierdüse 68
7.5.3 Einfluss der Plasma-Stromstärke auf die Brennererwärmung 69
7.5.4 Einfluss der MIG-Stromstärke auf die Brennererwärmung 71
7.5.5 Einfluss des Plasma-Elektrodenwerkstoffs auf die Brennererwärmung 72
7.5.6 Berechnungsmodell für den Kühlkreislauf 73
7.5.7 Dimensionierung des Kühlkreislaufes 77
7.6 Werkstoffauswahl 80
7.6.1 Plasma-Elektrode 80
7.6.1.1 Allgemeines 80
7.6.1.2 Werkstoffe auf Kupfer-Basis 80
7.6.1.3 Werkstoffe auf Wolfram-Basis 83
7.6.1.4 Werkstoffe auf Graphit-Basis 84
7.6.2 MIG-Kontaktrohr 85
7.6.3 Fokussierdüse 85
7.6.4 Brennergrundkörper 86
7.6.5 Isolationsmaterial 86
7.6.5.1 Allgemeines 86
7.6.5.2 Hartgewebe 87
7.6.5.3 Thermoplaste 88
7.6.5.4 Keramik 89
7.6.5.5 Aufgespritzte Schichten 89
8 Konzeption der Gesamtschweißanlage 91
9 Technologische Untersuchungen 93
9.1 verwendete Anlagentechnik 93
9.2 Einfluss einzelner technologischer Parameter 96
9.2.1 MIG-Leistung 96
9.2.2 Plasma-Leistung 96
9.2.3 Gasführung 97
9.3 Verbindungsschweißungen an Aluminiumwerkstoffen 99
10 Zusammenfassung 102
11 Literaturverzeichnis 106