

Hochschule für Technik und Wirtschaft Mittweida (FH)
Fachbereich Maschinenbau/ Feinwerktechnik

*09648 Mittweida
Technikumplatz 17*

*04741 Roßwein
Döbelner Straße 58*

Diplomarbeit

Björnstjerne Zindler
Am Hainberg 2
04680 Zschadraß
geb. 13. 11. 1966 in Görlitz

„Untersuchung der Besonderheiten beim Rollennahtschweißen großer Längen“

- Untersuchung der Veränderung des Schweißstromes beim Schweißen großer Längen
- Erarbeitung von Lösungsvorschlägen zur Stromkonstanthaltung
- Erarbeitung von Lösungsvorschlägen zur Minimierung der Wärmeentwicklung außerhalb der Schweißstelle

Im Auftrag von:

ASET- Schweißtechnik GmbH
Clara- Zetkin- Straße 12
08280 Aue

Betreuer: Prof. Dr.- Ing. Pfützte
Prof. Dr.- Ing. Wißuwa

Roßwein, den 23. März 1996

Björnstjerne Zindler, Am Hainberg 2, 04680 Zschadraß

„Untersuchung der Besonderheiten beim Rollennahtschweißen großer Längen“

- Untersuchung der Veränderung des Schweißstromes beim Schweißen großer Längen
- Erarbeitung von Lösungsvorschlägen zur Stromkonstanzhaltung
- Erarbeitung von Lösungsvorschlägen zur Minimierung der Wärmeentwicklung außerhalb der Schweißstelle

Hochschule für Technik und Wirtschaft Mittweida (FH), Fachbereich Maschinenbau/ Feinwerktechnik, 09648 Mittweida, Technikumplatz 17; 04741 Roßwein, Döbelner Straße 58, Diplomarbeit 1996

Referat:

Die hier vorliegende Bearbeitung befaßt sich mit den physikalischen Besonderheiten - *Strom* und *Wärme* - bei dem Fügeverfahren „Widerstandsschweißen - Rollennahtschweißen“.

Aus dem physikalischen Gebiet „*Elektrik*“ - Untersuchungen zu den Veränderungen des Schweißstromes beim Schweißen großer Längen und eben Möglichkeiten um solche unerwünschten Änderungen durch technische Möglichkeiten (*Stromkonstanter*) auszuschließen.

Im Gebiet „*Wärme*“ werden Möglichkeiten erfragt, um Wärme außerhalb der aktuellen Schweißposition in der Schweißeinrichtung zu minimieren, da diese erhebliche Stromverluste darstellen.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird die Arbeit in 3 Teile gegliedert:

- *Elektrik, Elektronik*
- *Wärme*
- *Anhang*

Die Abschnitte physikalische Grundlagen und Elektronik sind ausführlich beschrieben, mit anschließenden praktischen Versuchen zu diesem Thema. Der Abschnitt Wärme befaßt sich mit vorhandenen Erkenntnissen anderer Arbeiten und dem nochmaligen Überprüfen dieser.

Vorwort

Die hier vorliegende Bearbeitung befaßt sich mit den physikalischen Besonderheiten - *Strom* und *Wärme* - bei dem Fügeverfahren „Widerstandsschweißen - *Rollennahtschweißen*“.

Vom Auftraggeber dieser Arbeit, eine anwendende Firma dieses Schweißverfahren, wurde zwecks Optimierung des Produktionsprozesses für Sie interessante Teilthemen festgelegt.

Aus dem physikalischen Gebiet „*Elektrik*“ - Untersuchungen zu den Veränderungen des Schweißstromes beim Schweißen großer Längen und eben Möglichkeiten um solche unerwünschten Änderungen durch technische Möglichkeiten (*Stromkonstanter*) auszuschließen.

Im Gebiet „*Wärme*“ werden Möglichkeiten erfragt um Wärme außerhalb der aktuellen Schweißposition in der Schweißmaschine zu minimieren, da diese erhebliche Verluste darstellen.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird die Arbeit in 3 Teile gegliedert:

1)

Elektrik mit:

- Umriß um das Fertigungsverfahren
- physikalische Grundlagen als Längsschnitt zur Schweißnaht (2D- Basis)
- physikalische Grundlagen als räumliches Werkstückes (3D- Basis)
dabei werden lediglich die systematischen Komponenten (Stoff- const. Kontaktwiderstand) und nicht zufällige (sporadische Öl-Fettschichten, Inhomogenitäten etc.) betrachtet

Elektronik mit:

- regel- und steuerbare Elemente der Elektronik (Bauelemente)
- Geräte die die Möglichkeiten der Steuerung des Stromes eröffnen (Überblick)
- Praxis mit der Untersuchung eines Transformators
 - unter den Modi:
 - ungerregelt
 - geregelt
 - spannungsgeregelt
 - stromgeregelt
 - unter der Zeitbasis
 - statisch
 - dynamisch

Praxisbericht mit:

- Hersteller
- Nutzer

2)

Wärme mit:

- allgemeines zum Begriff Wärme unter dem Gesichtspunkt Verluste
- Möglichkeiten der Beeinflussung des Wärmehaushaltes in der Maschine
- Überprüfung dieser Möglichkeiten

Praxisbericht mit:

- Hersteller

3)

Anhang mit:

- Prospekte
- Gerätebeschreibungen
- Adressen
- Tabellen
- Literatur- und Bildquellen
- Europäisches Normenwerk zu den Eckpunkten
„Widerstandsschweißen“
„Rollennahtschweißen“
- Literaturverzeichnis

Die Abschnitte physikalische Grundlagen und Elektronik sind ausführlich beschrieben, um die anschließenden praktischen Versuche und Ausführungen in den Praxisberichten richtig interpretieren zu können.

Grundlagenwissen ist jedoch für diese Teilgebiete nötig und wird vorausgesetzt.

Die in dieser Arbeit vorkommenden Formeln sind in der Basis aus den zuständigen Werken entnommen und dann nach mathematischen Regeln in entsprechend gebrauchte Gleichungen umgeformt worden.

Dabei wurde einerseits verzichtet auf die Aufgliederung der Zwischenschritte, andererseits konnten so detailspezifische Formeln individuell angepaßt werden.

Trotzalledem kann die hier vorliegende Arbeit nur Vorschläge aufführen. Erst die Produktionspraxis wird dann die Wirksamkeit der vorliegenden Lösungen bestätigen, unterstützen oder gegensprechen.

Inhaltsverzeichnis

	Seite	
0.	Vorwort	3
1.	Das Widerstandsrollnahtschweißprinzip	9
1. 1	Einführung in das Punkt-, Buckel- und Nahtschweißen	9
1. 1. 1	Grundlagen der Widerstandserwärmung - Joulesche Wärmeleichung	10
1. 1. 2	Einflußgrößen der Widerstandserwärmung	11
1. 1. 3	Zusammenfassung für Punkt-, Buckel- und Nahtschweißen	14
1. 2	Wirkprinzip des Rollenahtschweißens	14
1. 2. 1	Nahtarten	15
1. 2. 2	Arbeitstechnik	16
1. 2. 3	Rollenelektroden	17
1. 2. 4	Fertigungsmittelüberblick	17
1. 2. 4. 1	Nahtschweißgeräte	17
1. 2. 4. 2	Nahtschweißmaschinen	17
1. 2. 5	Werkstoffe und Schweißparameter	20
1. 2. 6	Anwendungsgebiete	20
2.	Elektrotechnische Grundlagen	21
2. 1	2D- Basis	21
2. 1. 1	Allgemeine Randbedingungen	21
2. 1. 2	Gesamtwiderstand im Bereich II	21
2. 1. 3	Gesamtwiderstand im Bereich I	22
2. 1. 4	Stromflußänderung zwischen den Bereichen I und II	23
2. 1. 5	Die Slew- Rate des Stromflusses	23
2. 1. 6	Stromverteilung über die Naht - 2D	23
2. 1. 7	Spannungsverteilung über die Naht - 2D	24
2. 1. 8	Elektrische Leistungen	24
2. 1. 9	Der Korrekturfaktor μ	26
2. 1. 10	Der Korrekturfaktor μ^*	26
2. 1. 11	Der Verteilungsfaktor φ	27
2. 1. 12	Wirksamer Kontaktwiderstand R_2	28
2. 1. 13	Wirksamer Widerstand R_1 bei Steгнаht	29
2. 1. 14	Die Temperaturabhängigkeit des Widerstandes R_1	30
2. 2	3D- Basis	31
2. 2. 1	Allgemeines	31
2. 2. 2	Berechnung der Vergleichsschweißstromstärke	32
2. 2. 3	Der Verteilfaktor ε_s	33
2. 2. 4	Berechnung der Schweißstromstärke	34
2. 2. 5	Schweißleistung	34
2. 2. 6	Stromflußänderung zwischen den Bereichen I - II	34
2. 2. 7	Die Slew- Rate des Stromflusses	35
2. 2. 8	Der Korrekturfaktor m^*	35

3.	Steuer- und regelbare Elemente	36
3.1	Einstellbare Getriebe	36
3.2	Potentiometersteuerung	36
3.3	Relais, Auslöser und Schütze	37
3.3.1	Ausführungen von Relais und Auslösern	37
3.3.2	Elektrotechnische Angaben zu Relais	38
3.3.3	Schütze	38
3.3.4	Elektronische Relais	39
3.4	Thyratron (Stromrichterröhre)	40
3.5	Ignitron (Relaisröhre)	42
3.6	Transduktoren	44
3.6.1	Aufbau	44
3.6.2	Anwendung	45
3.7	Transistoren	46
3.7.1	Bipolare Transistoren	46
3.7.1.1	Bipolare Transistoren als Schalter	46
3.7.1.2	Die Arbeitspunkte im Kennlinienfeld	47
3.7.2	Feldeffekttransistoren	48
3.7.2.1	Feldeffekttransistoren als Schalter	48
3.7.2.2	Schaltstufen mit n- oder p- Kanal- MOS-FET	48
3.7.2.3	Schaltstufen in CMOS-Technologie	49
3.7.2.4	Schaltstufen mit VMOS-Leistungstransistoren	51
3.8	Thyristoren	51
3.8.1	Rückwärtsperrende Thyristortriode (Thyristor)	52
3.8.2	GTO- Thyristor (Abschaltthyristortriode)	53
3.8.3	PUT- Thyristor (Thyristortetrode)	54
3.8.4	Vierschichtdiode (rückwärtssperrende Thyristordiode)	54
3.9	Triac (Zweirichtungs- Thyristortriode)	56
3.10	Diac (Zweirichtungs- Thyristordiode)	57
3.11	Vergleich der steuer- und regelbaren Elemente	58
4.	Steuer- und Regelgeräte	59
4.1	Analogschalter mit Feldeffekttransistoren	59
4.2	Thyristoren	60
4.2.1	Prinzip der Gleichstromzündung	60
4.2.2	Prinzip der Wechselstromzündung	61
4.2.3	Prinzip der Impulszündung	61
4.2.4	Phasenanschnittsteuerung	62
4.2.5.1	Thyristor mit vorgeschalteter Diodenbrücke - Last an Wechselstrom	63
4.2.5.2	Thyristor mit vorgeschalteter Diodenbrücke - Last an Gleichstrom	63
4.2.5.3	Antiparallelschaltung	64
4.3	Triacs - Anwendung von Diac und Triac als Phasenanschnittsteuerung	66
4.3.1	Wirkungsweise	66
4.3.2	Hystereseeffekt	66

5.	Praktische Austestung eines Transformators	68
5. 1.	Allgemeine Angaben zum Transformator	68
5. 2	Versuche	69
5. 2. 1	Versuch 1	69
5. 2. 2	Versuch 2	72
5. 2. 3	Versuch 3	74
5. 2. 4	Versuch 4	76
5. 2. 5	Versuch 5	78
5. 2. 6	Versuch 6	80
5. 2. 7	Gesamtauswertung	82
6.	Technischer Stand von Konstantstromreglern für Widerstandsschweißmaschinen	83
6. 1	Gütesicherung bei Widerstandsschweißverbindungen mit Hilfe der Stromregelung	83
6. 1. 1	Allgemeines	83
6. 1. 2	Betriebszustände der Stromkonstantregelung	91
6. 1. 3	Regelung mit anderen Größen	93
6. 1. 4	Anhang zum Gliederungspunkt	94
6. 2	Beispiel eines Stromreglers für das Widerstandsschweißverfahren von Harms + Wende	98
6. 2. 1	Schweißsteuerungen mit Regelung und Grenzwertübertwachung	98
6. 2. 2	Beschreibung der Steuerstufe für Widerstandsschweißen MPS15043	98
7.	Wärme im Sekundärkreis	99
7. 1.	Entstehung	99
7. 2.	Physikalische Struktur der Sekundärimpedanz	99
7. 3	Elimination der induktiven Last	100
7. 3. 1	Theoretische Bedingungen	100
7. 3. 2	Praktische Bedeutung	101
7. 3. 2. 1	Sinusförmige Wellenform	101
7. 3. 2. 2	Rechteckförmige Wellenform	102
7. 3. 3	Leistungsbilanz	103
7. 4	Schweißstromquellen unter dem Gesichtspunkt der Verlusteminimierung	104
7. 4. 1	Stromart	104
7. 4. 1. 1	Gleichstrom	104
7. 4. 1. 2	Mischstrom	104
7. 4. 1. 3	Mittelfrequenter Wechselstrom	104
7. 4. 1. 4	Hochfrequenter Wechselstrom	105
7. 4. 1. 5	Rechteckförmiger Wechselstrom	105
7. 5	Wirbelstromverluste - Untersuchung der Minimierung	105
7. 6	Verifizierung des Verhältnisses P_{wMF} / P_{wLF} mittels Versuch	107
7. 6. 1	Versuche	107
7. 6. 1. 1	Versuch 1	107
7. 6. 1. 2	Versuch 2	109
7. 6. 2	Gesamtauswertung	110

8.	Schweißstromquellen mit Rechteckstromcharakteristik von Harms & Wende	111
9.	Anhang	112
9.1	Literatur zum Thema	112
9.2	Europäisches Normenwerk	119
9.2.1	„Rollennahtschweißen“	119
9.2.2	„Widerstandsschweißen“	122
9.3	Verwendete Formelzeichen	152
9.4	Adressen von Hersteller und Lieferanten	153
9.5	Tabellen zum im Text auftretende mathematischer Funktionen	156
9.5.1	Funktion:	156
9.5.2	Funktion:	158
9.5.3	Funktion:	160
9.5.4	Funktion:	163
9.6	Verzeichnis zitierter Literatur	166
9.7	Bildquellenverzeichnis	168
10.	Selbständigkeitsverzeichnis	171
11.	Prospektmaterial	172