

Widerstandspunkt- und Buckelschweißen zinkbeschichteter Stahlbleche

T 2222

T 2222

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Kommission der Europäischen Gemeinschaften

technische forschung stahl

Gebrauchseigenschaften und Betriebsverhalten

Widerstandspunkt- und Buckelschweißen zinkbeschichteter Stahlbleche

F. Eichhorn, K. Pöll, G. Schmitz

Rheinisch Westfälische Technische Hochschule Aachen
Institut für schweißtechnische Fertigungsverfahren
Pontstraße 49
D-5100 Aachen

Forschungsvertrag Nr. 7210-KC/102
(1.6.1985 – 31.5.1988)

Abschlußbericht

Generaldirektion
Wissenschaft, Forschung und Entwicklung

Veröffentlicht durch
KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN
Generaldirektion
Telekommunikation, Informationsindustrien und Innovation
L-2920 Luxemburg

HINWEIS

Weder die Kommission der Europäischen Gemeinschaften noch Personen, die im Namen dieser Kommission handeln, sind für die etwaige Verwendung der nachstehenden Informationen verantwortlich.

Bibliographische Daten befinden sich am Ende der Veröffentlichung.

Luxemburg: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, 1990
ISBN 92-826-1202-3
Katalognummer: CD-NA-12577-DE-C
© EGKS-EWG-EAG, Brüssel · Luxemburg, 1990

Printed in Belgium

Widerstandspunkt- und Buckelschweißen zinkbeschichteter Stahlbleche

EGKS Vertrag 7210-KC/102

Zusammenfassung

Ziel der Arbeit war es, für unterschiedlich zinkbeschichtete Werkstoffe Technologien zum Widerstandspunkt- und Buckelschweißen zu entwickeln. Insgesamt wurden acht verschiedene Versuchswerkstoffe untersucht, die sich sowohl in der Herstellungsart als auch in der chemischen Zusammensetzung der Beschichtung unterscheiden. Ein Teil der Versuchswerkstoffe war nur einseitig beschichtet.

Für das Widerstandspunktschweißen wurden in weitreichenden Versuchen der Einfluß der Hauptschweißparameter, der Elektrodenform sowie der Art der Energieeinbringung (Gleich-, Wechselstrom) auf die Qualität der Schweißungen untersucht. Weiterhin wurden Elektrodenstandmengenversuche durchgeführt.

Der Einfluß der Hauptschweißparameter auf die Festigkeit der Schweißungen bei diesen beschichteten Werkstoffen ist tendenziell mit dem bei blanken Stahlblechen zu vergleichen. Mit sinkender Elektrodenkraft, wachsender Schweißzeit und größer werdendem Schweißstrom stieg bei allen Versuchswerkstoffen die Festigkeit der Schweißungen an. Lediglich bei dem einseitig mit einer Zinkstaubfarbe lackierten Werkstoff konnte ein gravierender Einfluß der Elektrodenkraft nicht ermittelt werden. Aufgrund ihres höheren Übergangswiderstandes lassen sich die einseitig beschichteten Werkstoffe, sowie der beidseitig feuerverzinkte und geglühte Werkstoff mit 1-2 kA niedrigeren Schweißströmen verschweißen als die beidseitig beschichteten Werkstoffe.

Die untersuchten Elektrodenformen unterschieden sich in der Größe der Aufsetzfläche sowie in der Aufsetzgeometrie. Es wur-

den Elektrodenkappen der Form A 16 und E 13 (ISO) sowie Zapfenelektroden mit einem Zapfendurchmesser von 6,5 mm und einer Zapfenhöhe von 1 mm untersucht. In Verbindung mit der Elektrodenkappe E 13 wurden dabei Schweißversuche mit einer Punktschweißzange durchgeführt. Bezüglich des Einflusses der Hauptschweißparameter war bei den verschiedenen Elektrodenformen kein gravierender Unterschied zu ermitteln. Lediglich in den je Elektrodenkraft und Schweißzeit einstellbaren Schweißstromstärken waren Unterschiede vorhanden. So ergab sich für die Elektrodenkappe A 16 der größte nutzbare Bereich für den Schweißstrom. Der kleinste, sowie gegenüber den beiden anderen Elektrodenformen zu deutlich niedrigeren Werten hin verschobenen Bereich für den Schweißstrom wurde für die Elektrodenkappe E13 ermittelt.

Ein eindeutiger Einfluß der Stromart (Gleich-, Wechselstrom) auf die Qualität der erstellten Schweißungen konnte nicht nachgewiesen werden. Zwar ergaben sich bei gleicher Stromstärke und ansonsten gleichen Schweißparametern mit Gleichstrom geringfügig größere Schweißlinsen, absolut gesehen konnten jedoch Schweißungen mit deutlich besserer Festigkeit als bei Verwendung von Wechselstrom nicht erstellt werden. Die nutzbaren Einstellbereiche für den Schweißstrom waren bei Gleichstrom geringfügig größer und zu niedrigeren Werten hin verschoben. Weder ein Einfluß der Stromanstiegsgeschwindigkeit, noch der Art der zeitlichen Energieeinbringung (Amplitude der Welligkeit) bei Schweißungen mit Gleichstrom konnte ermittelt werden.

Bezüglich der maximal erzielbaren Elektrodenstandmengen sind deutliche Unterschiede bei den einzelnen Versuchswerkstoffen vorhanden, wobei zwischen den ein- und beidseitig beschichteten Werkstoffen unterschieden werden muß. So konnten mit dem einseitig beschichteten Werkstoff VIII und Gleichstrom 17.000 Punkte geschweißt werden, wobei die Beschichtung jeweils in der Fügeebene lag, mit dem beidseitig beschichteten Werkstoff VI und Wechselstrom lediglich 250 Punkte. Bei dem einseitig feuerverzinkten Werkstoff II ist herstellungsbedingt

die unbeschichtete Seite nicht gänzlich frei von Zink, sondern weist noch eine Eisen-Zink-Legierungsschicht auf. Aus diesem Grunde kommen auch hierbei die Elektroden mit Zink in Kontakt, so daß sich im Vergleich zu den übrigen einseitig beschichteten Werkstoffen nur geringe Standmengen erzielen lassen. Mit der Zapfenelektrode konnten unabhängig vom Versuchswerkstoff erheblich mehr Schweißpunkte ($> 300\%$) erstellt werden als mit der Elektrodenkappe A 16. War bei Schweißungen mit Gleichstrom ein deutlicher Einfluß auf die Qualität der Schweißungen im Vergleich zu Wechselstrom nicht nachzuweisen, so ist er bezüglich der maximalen Schweißpunktzahlen vorhanden. Unabhängig vom Versuchswerkstoff konnten bei Verwendung der Elektrodenkappe A 16 und Gleichstrom mehr Schweißpunkte ($> 50\%$) ohne ein Nachstellen der Schweißparameter geschweißt werden als bei Wechselstrom.

Versuche zum Widerstandsbuckelschweißen wurden mit allen Versuchswerkstoffen und drei unterschiedlichen Buckelgeometrien durchgeführt: Die Rundbuckel ISO 3.2 und ISO 2.5 sowie der Ringbuckel DIN C4. Die größte Steifigkeit weist dabei der Ringbuckel, gefolgt von dem größeren Rundbuckel, auf. Mit diesen beiden Buckelformen ließen sich bei allen Versuchswerkstoffen Schweißungen mit zufriedenstellender Qualität erstellen. Der kleinere Rundbuckel wies eine zu geringe Steifigkeit auf, um Schweißungen mit reproduzierbarer Qualität erstellen zu können. Aufgrund der geringen Punktdurchmesser, welche bedingt waren durch die Geometrie der verwendeten Buckelgeometrien, versagten die Schweißungen im Scherzugversuch nicht durch ein Ausknöpfen der Schweißpunkte, sondern durch ein Abscheren.

Elektrodenstandmengenversuche zeigten, wie erwartet, daß beim Buckelschweißen mit einem Elektrodenpaar deutlich mehr Schweißpunkte gemacht werden können als beim Punktschweißen. Die höchste Elektrodenstandmenge wurde mit dem Rundbuckel erzielt. Der Elektrodenverschleiß besteht dabei in größer werdenden Auskolkungen an der dem gebuckelten Blech zugewandten Elektrode.

Aachen, den 12. September 1989



Dipl.-Ing. K. Pöll



Dipl.-Ing. G. Schmitz



Prof. Dr.-Ing. F. Eichhorn

Tafel und Bildanhang

- Bild 1 Stationäre Gleich- und Wechselstrommaschine (schematisch)
- Bild 2 Punktschweißzange (schematisch)
- Bild 3 Sekundärstromform der stationären Gleich- und Wechselstrommaschine
- Bild 4 Aufbau des Kraftmeßkopfes (schematisch)
- Bild 5 Versuchsaufbau mit Funktionsweise des Effektivwertmeßgerätes (schematisch)
- Bild 6 Untersuchte Buckelgeometrien
- Bild 7 Aufbau der Beschichtung (schematisch), Werkstoff VII (feuerverzinkt und gegläht)
- Bild 8 Probenabmessungen der Einpunktproben
- Bild 9 Probenabmessungen für die Elektrodenstandmengenversuche
- Bild 10 Form und Abmessungen der Kappenelektroden
- Bild 11 Form und Abmessungen der Zapfen- und Buckelschweißelektrode
- Bild 12 Anordnung der Probenbleche bei Schweißversuchen mit den einseitig beschichteten Werkstoffen
- Bild 13 Strom-Kraftverlauf während einer Schweißung (schematisch)
- Bild 14 Amplitude (I_a) der Welligkeit des Gleichstromes (schematisch)
- Bild 15 Versuchsanordnung zur Bestimmung der Buckelrückverformung
- Bild 16 Lage der Buckel bei den Schweißversuchen mit den einseitig beschichteten Blechen
- Bild 17 -24 Einfluß der Schweißparameter auf die Festigkeit der erstellten Verbindungen
- Bild 25 Ausbildung der Schweißlinse bei den verschiedenen Versuchswerkstoffen, Werkstoff I-IV, $F_{EL} = 3 \text{ kN}$, $t_s = 10 \text{ Per}$
- Bild 26 Ausbildung der Schweißlinse bei den verschiedenen Versuchswerkstoffen, Werkstoff V-VIII, $F_{EL} = 3 \text{ kN}$, $t_s = 10 \text{ Per}$

- Bild 27 REM-Aufnahme der Bruchfläche einer nach $t_s = 1$ Per abgebrochenen Schweißung, Werkstoff X
- Bild 28 Qualitative Zinkverteilung (helle Punkte) in der Bruchfläche der Schweißverbindung (Bildausschnitt wie Bild 26)
- Bild 29 REM-Aufnahme der Bruchfläche einer nach $t_s = 5$ Per abgebrochenen Schweißung, Werkstoff X
- Bild 30 Qualitative Zinkverteilung (helle Punkte) in der Bruchfläche der Schweißverbindung (Bildausschnitt wie Bild 28)
- Bild 31 Linsenentwicklung und -ausbildung in Abhängigkeit von der Schweißzeit, Werkstoff IX, A16, DC,
 $t_{s,gesamt} = 14$ Per, $F_{el} = 3$ kN, $I_s = 11$ kA
- Bild 32 Linsenentwicklung und -ausbildung in Abhängigkeit von der Schweißzeit, Werkstoff I, A16, DC,
 $t_{s,gesamt} = 14$ Per, $F_{el} = 3$ kN, $I_s = 12$ kA
- Bild 33 Linsenentwicklung und -ausbildung in Abhängigkeit von der Schweißzeit, Werkstoff X, A16, DC,
 $t_{s,gesamt} = 14$ Per, $F_{el} = 3$ kN, $I_s = 13$ kA
- Bild 34 Einfluß der Zinkbeschichtung in der Fügeeben auf die Scherzugkraft, Werkstoff IX, I, X
- Bild 35 Einfluß der Zinkbeschichtung in der Fügeeben auf das Torsionsmoment, Werkstoff IX, I, X
- Bild 36 Einfluß der Lage der Beschichtung relativ zur Fügeebene auf die Scherzugfestigkeit der erstellten Verbindungen, Werkstoff II, IV, VIII, DC
- Bild 37 Einfluß der Lage der Beschichtung relativ zur Fügeebene auf die Scherzugfestigkeit der erstellten Verbindungen, Werkstoff II, IV, VIII, AC
- Bild 38 Ausbildung der Schweißlinse bei Schweißungen an den einseitig beschichteten Werkstoffen mit außenliegender Beschichtung, $F_{el} = 3$ kN, $t_s = 10$ Per
- Bild 39 Einfluß der Schweißparameter auf die Festigkeit der
-54 erstellten Verbindungen
- Bild 55 Einfluß des Verschleißzustandes der Elektrodenkappen auf
-57 die Festigkeit der erstellten Verbindungen
- Bild 58 Einfluß der Schweißparameter auf die Festigkeit der
erstellten Verbindungen
- Bild 59 Einfluß der Schweißparameter auf die Festigkeit der
-73 erstellten Verbindungen

- Bild 74 Verlauf des effektiven Schweißstromes je Periode bei
-77 Schweißungen mit unterschiedlichen
Stromanstiegsgeschwindigkeiten an verschiedenen
Werkstoffen
- Bild 78 Einfluß der Stromanstiegsgeschwindigkeit auf die
-79 Festigkeit der erstellten Schweißungen bei
verschiedenen Versuchswerkstoffen
- Bild 80 Amplitude der Welligkeit des Gleichstromes bei
verschiedenen Primärspannungen und mittleren effektiven
Schweißströmen
- Bild 81 Einfluß der Amplitude der Welligkeit bzw. der
-82 Primärspannung auf die Festigkeit der erstellten
Schweißungen bei unterschiedlichen Versuchswerkstoffen
- Bild 83 Geprüfte und nicht geprüfte Schweißproben des
-90 Werkstoffes I-VIII nach einjähriger
Freiluftbewitterung
- Bild 91 Einfluß der Freiluftbewitterung auf die Festigkeit der
Schweißverbindungen bei den verschiedenen
Versuchswerkstoffen
- Bild 92 Festigkeit der erstellten Schweißungen in Abhängigkeit
-99 von der Anzahl der geschweißten Punkte
- Bild 100 Erzielbare Elektrodenstandmengen bei den einzelnen
Versuchswerkstoffen
- Bild 101 Festigkeit der erstellten Schweißungen in Abhängigkeit
-103 von der Anzahl der geschweißten Punkte
- Bild 104 Erzielbare Elektrodenstandmengen bei den einzelnen
Versuchswerkstoffen und unterschiedlichen
Elektrodenformen
- Bild 105 Festigkeit der erstellten Schweißungen in Abhängigkeit
-112 von der Anzahl der geschweißten Punkte
- Bild 113 Erzielbare Elektrodenstandmengen bei den einzelnen
Versuchswerkstoffen und unterschiedlichen Stromarten
- Bild 114 Festigkeit der erstellten Schweißungen in Abhängigkeit
-116 von der Anzahl der geschweißten Punkte
- Bild 117 Erzielbare Elektrodenstandmengen bei den einseitig
beschichteten Versuchswerkstoffen in Abhängigkeit von
der Lage der Beschichtung relativ zur Fügeebene
- Bild 118 Ausbildung der Schweißlinsen bei
Elektrodenstandmengenende, Werkstoff VIII, Beschichtung
innen - außen
- Bild 119 Schweißpunkt aus einem Elektrodenstandmengenversuch mit
außenliegender Beschichtung, Werkstoff VIII

- Bild 120 Einfluß der Elektrodenkraft auf die Buckelrückverformung
 -127 bei den unterschiedlichen Buckelformen
- Bild 128 Einfluß des Schweißstromes auf die Festigkeit und deren
 -136 Variationskoeffizienten der erstellten
 Buckelschweißungen bei unterschiedlichen
 Elektrodenkräften, Werkstoff I
- Bild 137 Einfluß des Schweißstromes auf die Festigkeit und deren
 -139 Variationskoeffizienten der erstellten
 Buckelschweißungen bei unterschiedlichen Schweißzeiten,
 Werkstoff I
- Bild 140 Einfluß des Schweißstromes auf die Festigkeit der
 -147 erstellten Schweißungen bei unterschiedlichen
 Buckelgeometrien
- Bild 148 Einfluß der Lage der Beschichtung auf die erzielbare
 -150 Scherzugkraft bei Buckelschweißungen mit
 unterschiedlichen Buckelgeometrien
- Bild 151 Einfluß der Anzahl der geschweißten Punkte auf die
 Festigkeit der erstellten Schweißungen
- Bild 152 Einfluß der Anzahl der geschweißten Punkte auf die
 Festigkeit der erstellten Schweißungen
- Bild 153 Erzielbare Elektrodenstandmengen beim Widerstandspunkt-
 und Buckelschweißen mit unterschiedlichen
 Elektrodenformen und Buckelgeometrien

Tabelle 1 Kenndaten der Schweißmaschinen

Tabelle 2 Kenndaten des Elektrodenwerkstoffes

Tabelle 3 Mechanisch-technologische Kenndaten der
 Versuchswerkstoffe

1.	PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG	1
2.	VERSUCHSEINRICHTUNGEN	3
2.1	Schweißmaschinen	3
2.2	Meß- und Registriergeräte	5
2.3	Buckelformen für das Widerstandsbuckel- schweißen	6
3.	VERSUCHSWERKSTOFFE UND PROBENABMESSUNGEN	7
4.	ELEKTRODENWERKSTOFF UND -FORMEN	9
5.	VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	11
5.1	Widerstandspunktschweißen	11
5.1.1	Ermittlung geeigneter Schweißparameter	11
5.1.2	Versuche zur Ermittlung des Einflusses der Zinkbeschichtung auf die Güte der Schweiß- verbindungen	12
5.1.3	Ermittlung des Einflusses der Elektrodenform auf die Qualität der Schweißverbindungen und den Bereich der nutzbaren Schweiß- parameter	13
5.1.4	Ermittlung des Einflusses des Verschleißzu- standes der Elektrodenarbeitsflächen auf die Qualität der Schweißverbindungen und den Bereich der nutzbaren Schweißparameter	13
5.1.5	Ermittlung des Einflusses von Stromart und -form auf das Schweißergebnis	14
5.1.5.1	Vergleich Wechselstrom - Gleichstrom	14
5.1.5.2	Variation der Stromanstiegsgeschwindigkeit des Schweißstromes	15
5.1.5.3	Variation der Amplitude der Welligkeit des Schweißstromes bei Gleichstromschweißungen	15
5.1.6	Untersuchung des Einflusses von Korrosion auf die Qualität der Schweißverbindungen	16
5.1.7	Elektrodenstandmengenversuche	16
5.2	Widerstandsbuckelschweißen	17
5.2.1	Buckelrückverformung	17
5.2.2	Ermittlung geeigneter Schweißparameter	18

5.2.3	Elektrodenstandmengenversuche	19
5.3	Bestimmung der Qualität der Schweißverbindungen	20
5.3.1	Torsions- und Scherzugversuch	20
5.3.2	Metallographische Untersuchungen	21
6.	VERSUCHSAUSWERTUNG	22
6.1	Widerstandspunktschweißen	22
6.1.1	Einfluß der Hauptschweißparameter auf die Festigkeit und Qualität der erstellten Schweißungen	22
6.1.2	Einfluß der Zinkbeschichtung in der Fügeebene auf die Linsenausbildung und das Tragverhalten der Schweißverbindungen.	24
6.1.3	Einfluß der Lage der Beschichtung bei den einseitig beschichteten Werkstoffen relativ zur Fügeebene auf die Festigkeit und Qualität der erstellten Schweißungen	26
6.1.4	Einfluß der Elektrodenform auf die Qualität der Schweißverbindungen und den Bereich der nutzbaren Schweißparameter	28
6.1.5	Einfluß des Verschleißzustandes der Elektrodenarbeitsflächen auf die Qualität der Schweißverbindungen und den Bereich der nutzbaren Schweißparameter	29
6.1.6	Einfluß der Stromart auf das Schweißergebnis	30
6.1.7	Einfluß der Stromform auf das Schweißergebnis	31
6.1.7.1	Stromanstiegsgeschwindigkeit	31
6.1.7.2	Amplitude der Oberwelligkeit des Gleichstromes	32
6.1.8	Einfluß von Korrosion auf die Qualität der Schweißverbindungen	33
6.1.9	Elektrodenstandmengen	34
6.1.9.1	Einfluß der Anzahl der geschweißten Punkte auf die Festigkeit und die Qualität der erstellten Schweißungen	34
6.1.9.2	Einfluß der Elektrodenform auf die erzielbaren Elektrodenstandmengen	36
6.1.9.3	Einfluß der Stromart auf die erzielbaren Elektrodenstandmengen	37
6.1.9.4	Einfluß der Lage der Beschichtung bei den einseitig beschichteten Werkstoffen relativ	37

zur Fügeebene auf die erzielbaren Elektro-
denstandmengen

6.2	Widerstandsbuckelschweißen	38
6.2.1	Einfluß der Elektrodenkraft auf die Buckelrückverformung vor Stromflußbeginn	38
6.2.2	Einfluß der Hauptschweißparameter auf die Festigkeit der erstellten Verbindungen bei dem beidseitig feuerverzinkten Werkstoff und unterschiedlichen Buckelformen	40
6.2.3	Geeignete Buckelformen	41
6.2.4	Einfluß der Versuchswerkstoffe auf die Festigkeit der erstellten Buckel- schweißungen	42
6.2.5	Einfluß der Lage der Beschichtung auf die Festigkeit der erstellten Buckelschweißun- gen bei den einseitig beschichteten Werkstoffen	42
6.2.6	Elektrodenstandmengen	43
7.	VERWENDETE ABKÜRZUNGEN	45
8.	ANHANG A: Bilder	
9.	ANHANG B: Tabellen	
10.	ANHANG C:Schweißraster Widerstandspunktschweißen	
11.	ANHANG D: Schweißraster Widerstandsbuckelschweißen	