

Forschungsantrag - Langfassung

1. Forschungsthema

Möglichkeiten zur Beeinflussung der Linseneindringtiefe sowie der Linsenposition beim Widerstandspunktschweißen asymmetrischer Mehrblechkombinationen mit normal- und höherfesten Stahlblechen

2. Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

2.1 Anlass für den Forschungsantrag

Aktuelle Werkstoffe im Automobilbau bieten die Möglichkeit, Karosserien beanspruchungsgerecht auszulegen. Dabei werden asymmetrische Blechanordnungen, d.h. Bleche unterschiedlicher Werkstoffe, Dicke und Beschichtung, eingesetzt.

Erfahrungen der SLV Duisburg aus den letzten Jahren zeigen, dass es hierdurch in der Praxis immer häufiger zu Problemen kommt, die ausreichende Anbindung speziell dünner außen liegender Bleche zu erreichen. Die in verschiedenen Vorschriften geforderte Mindest-Linseneindringtiefe in dieses Blech kann oft nicht sicher gestellt werden, so dass aufwändige Untersuchungen durchgeführt werden müssen diese Verbindungen dennoch für die Produktion zu qualifizieren und freigeben zu können.

Mit Hilfe aufwändiger empirischer Untersuchungen lassen sich häufig Parametereinstellungen finden ausreichende Qualitäten zu erzeugen. Genaue Kenntnisse über die Auswirkung einzelner Parameteränderungen sind allerdings derzeit nicht bekannt.

Dies betrifft im Übrigen nicht nur Dreiblech- sondern auch bestimmte Zweiblechverbindungen.

Die Lösung dieser Probleme bedarf einer intensiven tiefer gehenden Untersuchung, um dem Anwender Wege aufzuzeigen.

2.2 Beschreibung der Ausgangssituation

Die übliche Technik zur Herstellung von Blechbauteilen ist nach wie vor die Widerstandspunktschweißung. Praktisch alle Fahrzeughersteller im europäischen Raum machen dabei Gebrauch von höherfesten Stahlwerkstoffen unterschiedlichster Art. In der heutigen Automobilfertigung stellt der Einsatz hochfester Stahlblechgüten bei weitem keine Nischenlösung mehr dar, wie Bild 1 deutlich erkennen lässt. Selbst Fahrzeuge der Klein- und Mittelklasse weisen einen beachtlichen Anteil dieser Werkstoffe auf.

Bei Kombination verschiedener Blechdicken, Grundwerkstoffe, Oberflächenveredelungen und Blechanzahlen stellt sich aber mehr und mehr heraus, dass sowohl Fertigung als auch Reparatur sehr stark gefordert werden [28][29] und entsprechend höheren Aufwand treiben müssen.

Die meisten Fahrzeuge dürften heute zumindest im Bereich der Türen, A- und B-Säulen mit höchstfesten Stählen verstärkt sein. Die Forschungsstelle hat beispielsweise bereits vor ca. 12 Jahren die Einschweißung der Türverstärkung (Seitenaufprallschutz) für ein Fahrzeug der Kleinwagenklasse untersucht. Dabei ging es um Kombinationen mit dem höchfesten warmgeformten Stahl 22MnB5.

Allgemein ist festzustellen, dass der Anteil höherfester Stähle (AHSS), insbesondere mit besonders hoher Streckgrenze, im Automobilbau zum Zwecke der Gewichtsreduzierung weiterhin steigend ist.

Ein anderer aktueller Trend ist die Verwendung von höherfesten Edelstählen, z.B. H400. Diese Edelstähle weisen gegenüber bereits eingeführten „mittelhochfesten“ AHSS-Qualitäten eine vergleichbare Festigkeit auf, sind jedoch erheblich besser umformbar. Im aktuellen A6 beispielsweise bestehen bereits einige Komponenten aus Edelstählen. Weitere Fahrzeuge mit erheblich höherem Anteil von Edelstählen in der Karosserie sind kurz vor der Markteinführung.

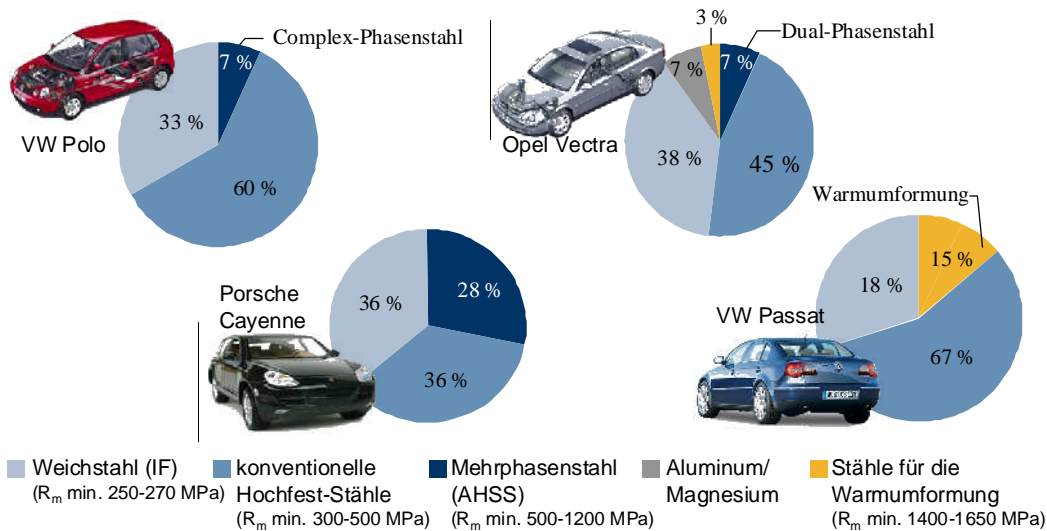


Bild 1: Materialmix im heutigen Automobilbau [31]

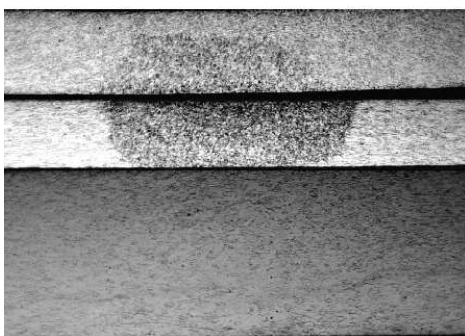
Insbesondere das Schweißen von Mischkombinationen hochfest/normalfest, besonders bei Dreiblechkombinationen, erweist sich hierbei häufig als nicht einfach bis überhaupt nicht beherrschbar. Aber schon die Zweiblechschweißung kann sich bei ungünstiger Material- und Dickenkombination als schwierig erweisen.

2.3 Stand der Technik

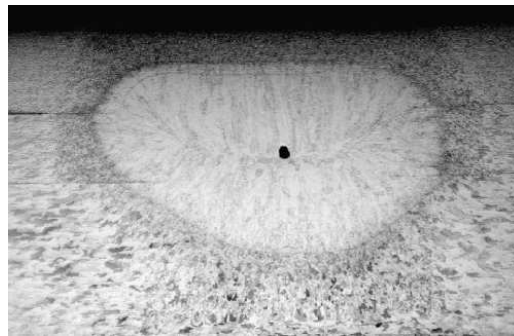
Zur Beschreibung des Standes der Technik wurde eine Literaturrecherche in den Datenbanken DOMA, WEMA, Weldasearch, INSPEC, METADEX, COMPENDEX und PASCAL durchgeführt. Hier kam es nur zu relativ wenigen verwertbaren Treffern. Erheblich mehr Informationen wurden in den vom Antragsteller selbst in der Vergangenheit gesammelten Veröffentlichungen gefunden, die das eigentliche Thema allerdings häufig nur relativ unspezifisch und nur am Rande behandeln.

2.3.1 Zur Beschreibung der Problematik

So lange annähernd gleichartige Werkstoffe miteinander verschweißt werden, sind Zwei- und Dreiblechkombinationen relativ problemlos mittels Widerstandspunktschweißung zu fertigen. Für die Dreiblechschweißung wurde dies in [3] an zahlreichen Kombinationen unterschiedlicher Dicke und Oberflächenveredelung gezeigt. Hier, und auch in [24], wird bei Dreiblechkombinationen gleichartiger aber unterschiedlich dicker Stahlwerkstoffe (normalfest) in aufsteigender Blechdickenkombination festgestellt, dass die Linsenbildung in der Regel am dünneren Blech startet und dieses dementsprechend problemlos angebunden wird.



Erwärmung zu Beginn der Schweißzeit, nach 60 ms



während der Schweißzeit, nach 120 ms

Bild 2: Ausbildung der Schweißlinse bei gleichartigen Materialien, aus [24]

Auch die Schweißung höherfester Werkstoffe ist, artgleich sowie in Kombination, bei der Zweiblechschweißung in weiten Grenzen möglich, auch wenn hier im Einzelnen durchaus nur eingeschränkte Strom- bzw. Schweißbereiche gefunden werden konnten [4].

Untersuchungen, z.B. in [28] zeigen jedoch, dass gerade die Kombination aus Dreiblechschweißungen mit Einsatz höherfester Bleche im Einzelfall bislang unlösbare Probleme aufwirft bzw. zu stark eingeschränkter Fertigungssicherheit führt.

Werden Bleche unterschiedlicher Grundwerkstoffe miteinander verschweißt, so bildet sich die Linse vorzugsweise in dem Blech mit höherem Widerstand aus. Dies ist in der Regel das Material mit der höheren Festigkeit. Damit wird auch die Linseneindringtiefe in das besser leitende (niedriger feste) Material reduziert, wodurch die Anbindung des Bleches unsicherer wird.

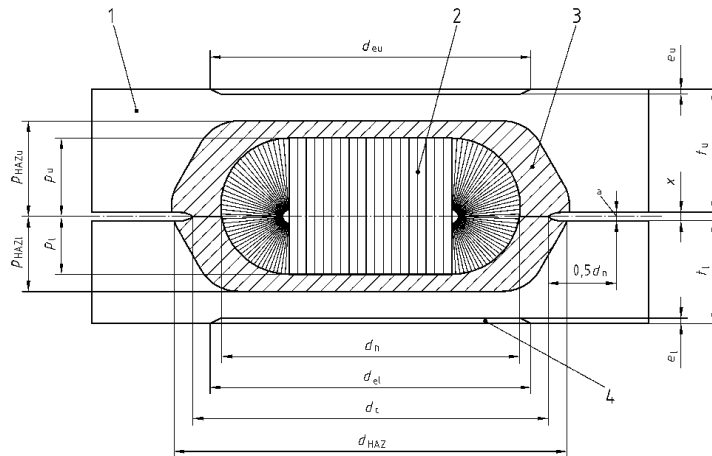
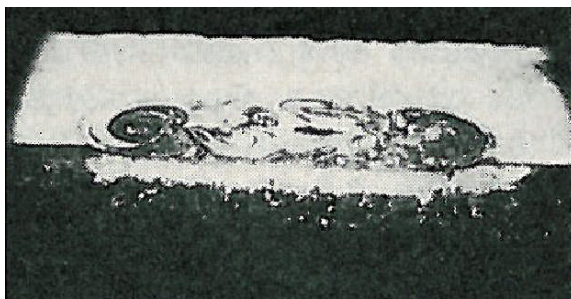


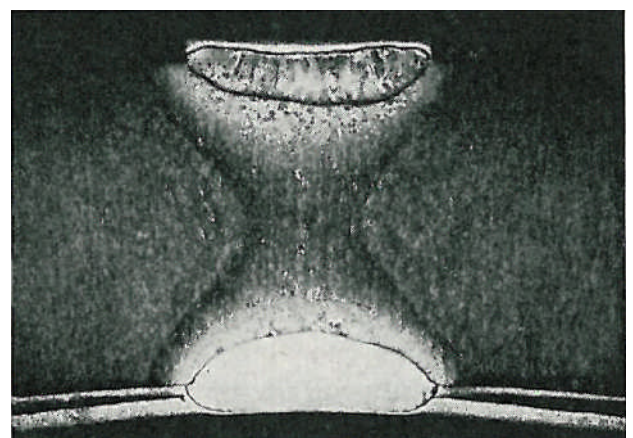
Bild 3: Abmessungen an der Schweißlinse aus [2] (P_u und P_L bezeichnen die Linseneindringtiefe in das obere bzw. untere Blech)

Für Anwendungen im Flugzeugbau wird in [12] als Anforderung das Erreichen einer Linseneindringtiefe von 20% über 80% des Linsendurchmessers genannt. Dabei darf die Linseneindringtiefe aber 80% der Blechdicke nicht überschreiten. Dies ist sicherlich eine sehr anspruchsvolle Forderung, die bislang, wenn überhaupt, nur im sehr sorgfältig überwachten Bereich der Luft- und Raumfahrt einzuhalten sein wird. Sollten jedoch gezielte Massnahmen zur Steuerung der Linsenposition erforscht sein, könnte dieser Qualitätsstandard voraussichtlich auch in der Großserienfertigung möglich sein.

Im Triebwerksbau, wo sehr unterschiedliche Legierungen verschweißt werden müssen, weist [13] darauf hin, dass das „Intervall zwischen Durchschweißung und Lunkerbildung“ äußerst schmal sei, Bild 4 links. Aus dem Bereich der Raumfahrt wird eine extreme Verbindung von 4 Blechen einer Titanlegierung beschrieben, in der es zur Aufschmelzung zweier getrennter Linsen kommt. Der Autor beschreibt Probleme bei der Fertigung und Qualitätssicherung [14], Bild 4 rechts.



Nimonic 75 / Haynes 25
ohne Dickenangabe [13]



Ti13V11Cr3Al
0,2 / 6,0 / 0,1 / 0,4[mm]

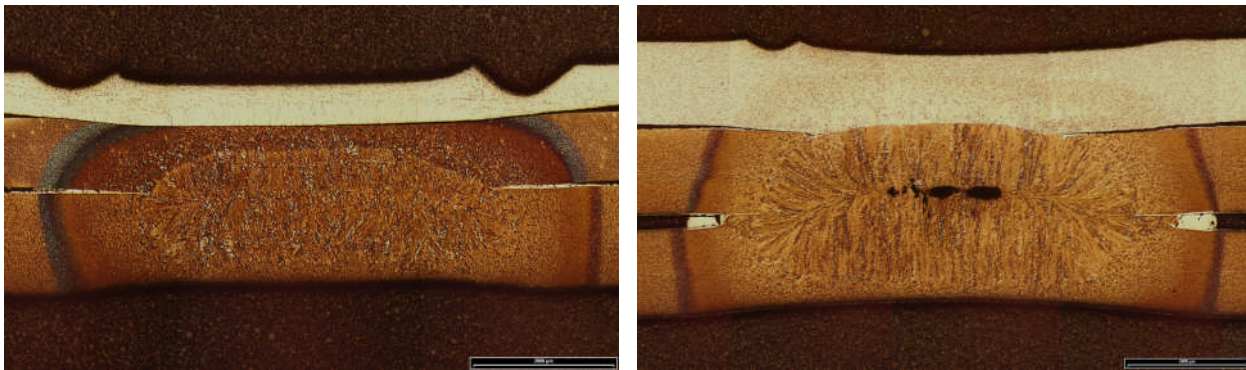
Bild 4: Verbindung aus dem Triebwerksbau (links) bzw. der Raumfahrt (rechts)

Die im Bild rechts dargestellte Situation zeigt einen für das übliche Widerstandspunktschweißen absoluten Sonderfall. Beide Bilder sollen nur aufzeigen, welche Effekte im Prinzip auftreten können.

Gerade bei Mehrblechverbindungen ist im Automobilbau die konstruktive Anforderung in der Regel so, dass auf einer Seite als Verstärkung ein relativ dickes hochfestes Blech angeordnet ist, auf der anderen Seite als Außenhaut in der Regel ein dünnes normalfestes verzinktes Blech. Das Zwischenblech ist entweder normal- oder höherfest, meist auch dickeres Blech. Diese Anordnung widerspricht den konstruktiven Empfehlungen, die in den meisten Automobilvorschriften [30] genannt werden. Auch das dort für Zweiblechverbindungen genannte Blechdickenverhältnis von 3:1 ist unter Berücksichtigung der elektrischen Eigenschaften der höherfesten Materialien grenzwertig. Beispiele zu den angesprochenen Problemen zeigen die Schliiffaufnahmen in Bild 5.

Einige Werksnormen bzw. Vorschriften [30] fordern die Einhaltung einer Linseneindringtiefe von z.B. mindestens 0,2 mm oder mindestens 20 % der jeweiligen Aussenblechdicke.

Erfahrungen zeigen, dass diese Vorgaben oft nicht eingehalten werden können. Hier muss dann im Einzelfall ein Weg gefunden werden, um die Fertigung dennoch zulassen zu können – beispielsweise durch gesonderten Nachweis, dass die zerstörende Prüfung ausreichende Festigkeitswerte liefert.



Oberblech nicht angeschmolzen

geringe Linseneindringtiefe in das Oberblech

Bild 5: Beispiele für zu geringe Linseneindringtiefe [28]

In der Automobilindustrie gibt es zahlreiche firmenspezifische Informationen und Grenzwerte zum Widerstandspunktschweißen. Bei Diskussion des Antrages in einer DVS-Arbeitsgruppe wurde angeregt, diese Informationen in den Antrag und das Vorhaben einfließen zu lassen.

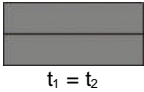
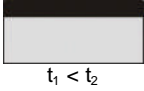

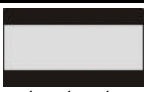
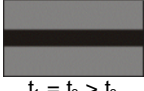
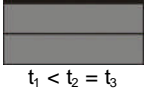
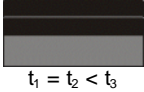

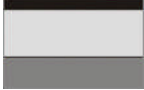
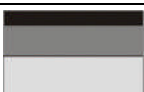
Da diese Informationen leider nicht frei für jeden Interessenten verfügbar sind, auch zum Teil die Nennung der jeweiligen Quelle in diesem Antrag untersagt wurde, ist die entsprechende Tabelle ohne Hinweis auf den jeweiligen Hersteller in „anonymer“ Form erstellt worden.

Der Vergleich der Angaben in Tab. 1 zeigt deutlich, dass es zwischen den verschiedenen Herstellern unterschiedliche Auffassungen über anwendbare Dickenverhältnisse gibt. Auch weisen die Angaben einige Lücken auf, die aus den Erklärungen nicht eindeutig gefüllt werden können.

Darüber hinaus wird nur bei einem Hersteller angemerkt, dass bei höherer Materialfestigkeit (und damit schlechterer Leitfähigkeit) andere Dickenverhältnisse festgelegt werden müssen.

Ein weiterer Hersteller schränkt das Blechdickenverhältnis bei gemischten Kombinationen (mit z.B. H400) ausdrücklich ein. Dies wird jedoch nicht differenziert je nach Materialkombination/Anordnungsvariante getan, sondern gilt dann gleich für sämtliche Mischkombinationen.

Es besteht somit offenbar Handlungsbedarf eine Vorgabe für die materialabhängige Ermittlung der Blechdickenverhältnisse zu erarbeiten, um allgemein gültige Festlegungen schaffen zu können. Dies würde gerade für die kmU sehr hilfreich sein.

	Kombination t1 (oben) t2 (mitte) t3 (unten)	AS	L8	M8	KM	CV
1	 t ₁ = t ₂	t=0,5-3,0mm t _{ges} ≤ 8mm	-	-	-	t _{ges} ≤ 6mm
2	 t ₁ < t ₂	wie 1 t ₂ / t ₁ ≤ 3	-	t ₂ / t ₁ ≤ 3	t ₂ / t ₁ ≤ 3	t ₂ / t ₁ ≤ 3
3	 t ₁ = t ₂ = t ₃	wie 1	-	-	-	wie 1
4	 t ₂ > t ₁ = t ₃	t ₂ / t ₁₍₃₎ ≤ 2	t ₃₍₂₎ / t ₁ ≤ 5	t ₂ / t ₁₍₃₎ ≤ 2	t ₂ / t ₁₍₃₎ ≤ 3	t ₂ / t ₁₍₃₎ ≤ 3
5	 t ₁ = t ₃ > t ₂	wie 2	t ₃₍₂₎ / t ₁ ≤ 5	-	t ₁₍₃₎ / t ₂ ≤ 3	t ₁₍₃₎ / t ₂ ≤ 3
6	 t ₁ < t ₂ = t ₃	keine Angabe wie 9?	keine Angabe wie 9?	keine Angabe wie 9?	t ₂₍₃₎ / t ₁ ≤ 2,5	t ₂ / t ₁ ≤ 3 ? ⁴⁾ t ₃ / t ₁ ≤ 2
7	 t ₁ = t ₂ < t ₃	keine Angabe wie 8?	keine Angabe wie 8?	keine Angabe wie 8?	t ₃ / t ₁₍₂₎ ≤ 2,5	t ₃ / t ₂ ≤ 3 ? ⁴⁾ t ₃ / t ₁ ≤ 2
8	 t ₃ > t ₁ > t ₂	t ₃ / t ₁ ≤ 2	t ₃ / t ₂ ≤ 5 und t ₃ < (t ₁ +t ₂)	t ₃ < (t ₁ +t ₂)	t ₃ / t ₁ ≤ 2,5	t ₃ / t ₂ ≤ 3 t ₁ / t ₂ ≤ 3 t ₃ / t ₁ ≤ 2
9	 t ₂ > t ₃ > t ₁	t ₂ / t ₁ ≤ 2	t ₂ / t ₁ ≤ 2,5	t ₂ / t ₁ ≤ 2	t ₃ / t ₁ ≤ 2,5	t ₂ / t ₃ ≤ 3 t ₂ / t ₁ ≤ 3 t ₃ / t ₁ ≤ 2
10	 t ₁ < t ₂ < t ₃	t ₂ / t ₁ ≤ 2 und t ₃ / (t ₁ +t ₂) ≤ 1	t ₂ / t ₁ ≤ 2,5 und t ₃ < (t ₁ +t ₂)	t ₂ / t ₁ ≤ 2 und t ₃ < (t ₁ +t ₂)	t ₃ / t ₁ ≤ 2,5	t ₃ / t ₂ ≤ 3 t ₂ / t ₁ ≤ 3 t ₃ / t ₁ ≤ 2
11	4-Blech	nicht zulässig!				
Anmerkungen			1)		2)	3)

Tab. 1: Vergleichstabelle zu Empfehlungen aus der Automobilindustrie

2.3.2 Stand der Technik zur Lösung

Prinzipielle Untersuchungen zur Bildung der Schweißlinse hat es in der Vergangenheit zahlreich gegeben. So berichten [19][20] über umfangreiche Untersuchungen hierzu, auch die Möglichkeit zur Beeinflussung über Variation des Kontaktwiderstandes. Diese Grundsatzuntersuchungen erfolgten jedoch sämtlich an Kombinationen gleicher Materialien und Blechdicken.

Zum Thema der Schweißbarkeit verschiedener Werkstoffe wurde in [17] ein empirischer Schweißbarkeitsfaktor

$$S = \frac{10^4}{\kappa \cdot \lambda \cdot t_s} \text{ eingeführt.}$$

Dabei werden die elektrische Leitfähigkeit κ , die Wärmeleitfähigkeit λ sowie der Schmelzpunkt t_s berücksichtigt. Je höher der Wert S ist, um so besser ist in der Regel die Schweißbeignung. Nach Angaben des Verfassers liegen die Werte für S bei „Kohlenstoffstahl“ bei 9,3 und bei „Austenit“ bei 40. Dementsprechend wären beide Werkstoffe für sich als „ausgezeichnet“ schweißbar einzuschätzen. Allerdings sieht man auch deutlich den Unterschied, der in einer gemischten Verbindung zu ungleicher Anschmelzung der Materialien führen wird. In [21] wird u.A. die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von Legierungsgehalt und Temperatur beschrieben. Das bedeutet, dass auch während der Schweißung hier noch nicht temperaturproportionale Änderungen der Wärmeleitfähigkeit zu erwarten sind. Weitere Informationen gibt der gleiche Verfasser in [22], wo für verschiedenste Stahlwerkstoffe für mechanische, thermische und elektrische Eigenschaften aufgelistet werden. Hier fehlen natürlich die Angaben für erst in den letzten Jahren neu entwickelte Stahlwerkstoffe, Werte einiger „klassischer“ Werkstoffe sind jedoch enthalten.

In der Literatur steht in der Regel nicht das Problem ungleicher Materialien im Vordergrund, meist geht es allein um Empfehlungen für ungleiche Blechdicken. Das DVS-Regelwerk enthält bislang keine Empfehlungen für die Herstellung von Mischkombinationen. In [1] wird lediglich empfohlen das dünne Blech zwischen den dicken anzuordnen sowie Blechdickenkombinationen nur bis max. 1:3 zu verwenden. Auf Möglichkeiten, in diesem Fall die Linsenposition zu beeinflussen, wird nicht eingegangen.

In der Literatur sind hierzu jedoch einige Stellen zu finden, auch wenn dies im Text nicht unbedingt mit der Position der Linse in Zusammenhang gebracht wird. Vielleicht ist dies auch ein Grund, warum in der beauftragten Literaturrecherche nur wenige Literaturstellen gefunden wurden. So bemerken [17] und [10], dass beim Schweißen sehr dünner auf dicke Bleche auf eine gleichmäßige Erwärmung zu achten sei und empfehlen dafür eine größere Elektrodenkontaktfläche auf der Seite des dünnen Materials. [25] beschreibt für das Schweißen von Aluminium eine aufgabenabhängige Wahl der Elektrodengeometrien um die geometrische Ausbildung der Schweißlinse und ihre Lage zu beeinflussen.

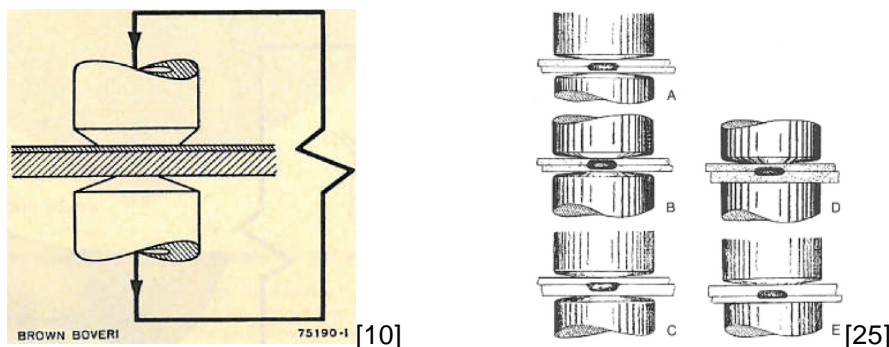


Bild 6: Empfehlungen zur Wahl der Elektrodengeometrie bei unterschiedlichen Blechdicken

Kombinationen von Elektrodengeometrien werden auch in [16] behandelt. Hier bezieht sich der Autor jedoch mehr auf den „Druckverlauf“ innerhalb der Schweißung und die spezielle Situation beim Vielpunktschweißen. Auch [11] beschreibt die einseitige Punktschweißung, stellt hier aber bei bestimmten Randbedingungen eine einseitige bananenförmige Aufschmelzung fest.

Etwas weiter geht [9], Bild 7. Die Situation beim Schweißen extrem unterschiedlicher Kombinationen wie Kupfer auf Edelstahl wird kurz angesprochen, man geht aber über allgemeine Empfehlungen nicht hinaus. Als Einflüsse auf die Steuerung der Erwärmung werden thermische bzw. elektrische Leitfähigkeit sowie die Geometrie sowohl der Bleche als auch der Elektroden genannt.

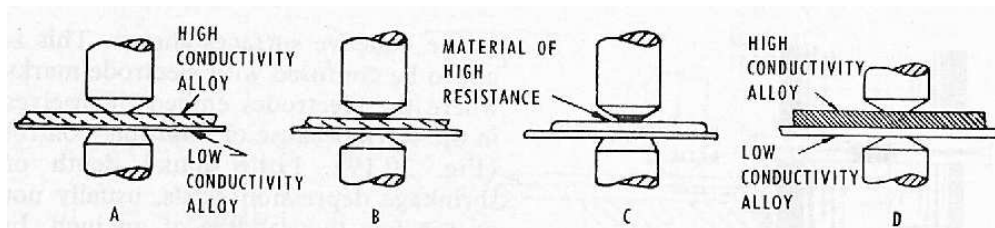


Bild 7: Empfehlung zur Elektrodenwahl bei Schweißung unterschiedlicher Materialien und Blechdicken [9]

Die Möglichkeit der Verwendung von Elektrodenwerkstoffen unterschiedlicher Leitfähigkeit wird ebenfalls angesprochen. Genauere Angaben zur Wahl der Elektrodenwerkstoffe bei Materialkombinationen macht [23], bezieht sich aber hierin mehr auf Werkstoffe aus dem Bereich der Kleinteilfertigung und differenziert nicht genug für verschiedene Stahlblechqualitäten.

Auch [5] geht kurz auf die Verschweißung unterschiedlicher Materialien ein und erwähnt, dass es unter bestimmten Voraussetzungen vorkommen kann, dass die Linse in nur einem der Bleche entsteht. Weiterhin könne es vorkommen, dass die für das Aufschmelzen des anderen Bleches erforderliche Wärme von dem zuvor aufgeschmolzenen Blech schlechterer Leitfähigkeit eingeleitet werde. Zum Ausgleich der Unterschiede hinsichtlich elektrischer und thermischer Leitfähigkeit wird die Wahl ungleicher Elektrodenwerkstoffe vorgeschlagen.

Interessant ist, dass bereits in [9] in der Beschreibung zu Bild 7-C eine Zwischenschicht bzw. ein dünnes Band vorgeschlagen wurde um die Wärmebildung/Wärmeabfuhr zu steuern.

Diese Technik ist heute verfügbar und in Einzelfällen erfolgreich einsetzbar, wie [33] anhand einer sehr asymmetrischen Kombination (H400[1,8mm] / DX53+Z[1,75mm] / DX56+Z[1mm]) zeigt. Allerdings ist die erforderliche Anlagentechnik im Verhältnis zu normalen Schweißzangen relativ teuer.

Das Schweißen von Edelstählen, auch einer Mischkombination, wird in [6] beschrieben. Die Linsenverlagerung in Richtung des Edelstahles wird erwähnt und ist im Schliffbild auch deutlich sichtbar, war bei der dort untersuchten Kombination jedoch relativ unkritisch.

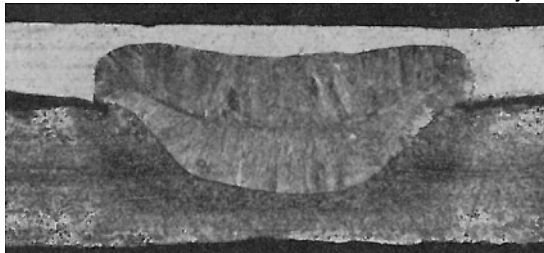


Bild 8: Verbindung zwischen Edelstahl CrNi18 8 [1,5mm] und St37.12 [3,0mm]

Bei umgekehrter Blechdicke, d.h. Edelstahl erheblich dicker als der unlegierte Stahl, wäre nach Erkenntnissen der Forschungsstelle mit massiven Problemen zu rechnen.

Es wird in Gesprächen häufig angeführt, dass die Schweißung durch Maßnahmen wie Anwendung der Mehrimpulsschweißung, Vorwärmstrom, Stromanstieg, bestimmte impulsförmige Stromprogramme etc. positiv beeinflusst werden könne. Literaturstellen die diese Aussagen stützen würden konnten jedoch kaum gefunden werden. So beschreibt [17] beispielsweise die Impulsschweißung als Möglichkeit, insbesondere bei dickeren Blechen eine größere Linsendicke (und damit auch Linseneindringtiefe) zu erreichen. Für das Schweißen von Blechdicken ab 3,0 mm werden hier auch Mehrimpulsschweißungen empfohlen.

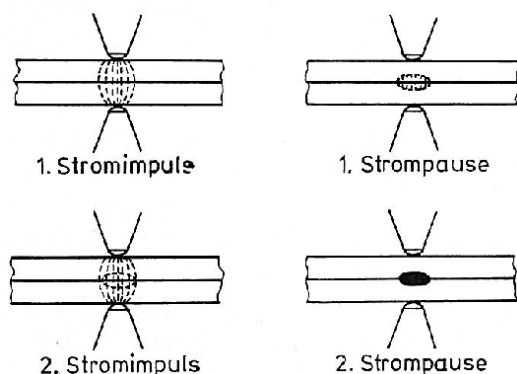


Bild 9: Wärmebildung bei einer Mehrimpulsschweißung [17]

Diese Aussagen beziehen sich jedoch nicht auf spezielle Materialkombinationen.

Konkrete Daten und Versuchsergebnisse liegen darüber hinaus zu all diesen genannten Möglichkeiten nicht vor.

Nach Untersuchungen der Forschungsstelle [3] empfiehlt es sich bei Dreiblechkombinationen die Schweißparameter nach der „anspruchsvollsten“ Fügeebene festzulegen. Grund dafür ist, dass ansonsten diese Fügeebene, in der Regel die mit der „dickeren“ Materialkombination, nicht ausreichend aufschmelzen würde. Bei höherfesten Stahlblechen ist in aller Regel eine höhere Elektrodenkraft erforderlich, um möglichst fehlerfreie (Lunker) Schweißungen zu erhalten [4]. Kombiniert man nun dicke höherfeste Werkstoffe mit einem außen liegenden dünnen, in der Regel feuerverzinkten, Blech, so ist die Elektrodenkraft gerade für diese Verbindungsebene zu hoch. Damit entsteht in dieser Fügeebene auf Grund des reduzierten Übergangswiderstandes zu wenig Wärme, die Schweißung wird hier schwieriger. Als Abhilfe wird häufig eine kleinere Elektrodenkraft verwendet, weshalb dann allerdings in der Regel mit verstärkt auftretenden Lunkern zu rechnen ist.

Eine neuere Literaturstelle [26] beschreibt die Möglichkeit, durch Anwendung eines kombinierten Kraft-Strom-Programmes die Linsenausbildung zu optimieren, Bild 10. Versuche an einer Blechkombination zeigten exemplarisch den positiven Effekt. Allerdings sind die genannten Daten unvollständig und lassen die einfache Anwendung an beliebigen Kombinationen somit nicht zu. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden auch Simulationsrechnungen durchgeführt.

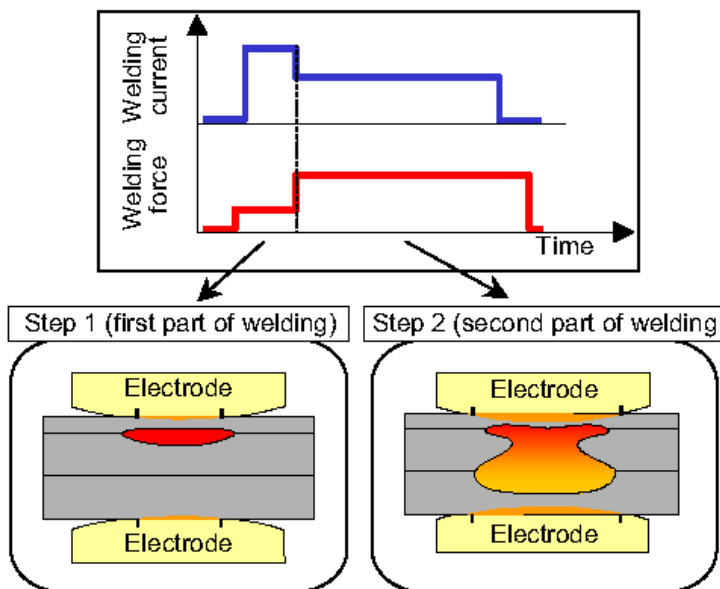


Bild 10: Schematische Darstellung der Einstellung und der Auswirkung eines Kraft-Stromprogrammes [26]

Diese Vorgehensweise ist logisch, erfordert jedoch eine spezielle Schweißausrüstung mit der ein entsprechendes Kraftprogramm in den für den ordnungsgemäßen Prozessablauf erforderlichen kurzen Zeitintervallen gefahren werden kann. Im Falle von Roboterschweißzangen kommt hier praktisch nur ein servomotorischer Antrieb in Frage, der eine erhebliche Zusatzinvestition bedeutet.

Weiterhin stehen bislang keine allgemein verwendbaren Einstellempfehlungen zur Verfügung.

Eine weitere Möglichkeit ist gegeben durch Anwendung spezieller Stromprogramme. Hier kann mit einem hohen, kurzen Stromimpuls die Schweißung in der Fügeebene des dünnen Bleches begonnen werden, danach wird der Strom auf einen normalen Wert reduziert um die Schweißung fertig zu stellen. In Versuchen der Forschungsstelle im Rahmen von Industrieprojekten hat sich diese Möglichkeit als prinzipiell geeignet erwiesen. Allerdings ist die Wahl der Parameter des Vorimpulses etwas kritisch sofern Spritzer vermieden werden sollen. Fraglich ist dann auch die Auswirkung von Störgrößen, z.B. schlechter Passung auf den Start der Aufschmelzung. Dementsprechend ist auch diese Methodik zu untersuchen.

3. Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg

3.1 Forschungsziel

Ziel des Forschungsvorhabens ist es Methoden zu entwickeln, die Fertigungssicherheit beim Widerstandspunktschweißen asymmetrischer Kombinationen mit höherfesten Materialien zu erhöhen. Weiterhin sollen Möglichkeiten und Grenzen erkundet werden, damit diese Angaben in die Ausbildung sowie ins Regelwerk einfließen können.

3.1.1 Angestrebte Forschungsergebnisse

Als Ergebnis der Arbeit soll geklärt sein, inwieweit die Linsenbildung und die Linsenposition bei verschiedenen repräsentativen Kombinationen durch Schweißparameter, spezielle Schweißstrom- und Kraftprogramme sowie Anlagentechnik bzw. Elektroden beeinflusst werden kann.

3.1.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

Bislang liegen zu diesem Thema offenbar keine in sich abgeschlossene Untersuchungen vor. Häufig merkt man erst bei der Einführung in die Fertigung, dass konstruktiv Verbindungen vorgesehen wurden, die sich dann in der Praxis nicht sicher verschweißen lassen. Dies führt zu teuren und zeitaufwändigen Umkonstruktionen, z.B. von Drei- zurück auf Zweiblechverbindungen. Neben den Kosten für die Umkonstruktion und Vorbereitung fallen damit in der Regel auch doppelte Fügekosten an.

Das Forschungsvorhaben wird dazu beitragen eine Wissenslücke zu schließen und das Verständnis für die Vorgänge beim Widerstandspunktschweißen erweitern und vertiefen.

3.2 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungszieles

3.2.1 Methodischer Ansatz

Die Möglichkeiten zur Beeinflussung der Linsenposition werden an 3 ausgewählten Schweißaufgaben untersucht. Mit den sich hierbei als erfolgreich herausstellenden Maßnahmen werden zur Verifikation Versuche an weiteren Kombinationen durchgeführt, um möglichst viele Daten für die Erstellung einer allgemeingültigen Empfehlung für die Praxis geben zu können, wie dies für die kmU und die Erstellung eines Merkblattes erforderlich ist.

Der Schwerpunkt der Untersuchungen liegt im Bereich der Dreiblechverbindungen.

Berücksichtigt werden die folgenden Varianten:

- Bleche im Dickenbereich von ca. 0,6 – 2,5 mm
- normal- bis höherfeste niedrig legierte Stahlwerkstoffe (z.B. DC, DX, DP, TRIP/RA, CP, 22MnB5-Varianten,...)
- normal- bis höherfeste hochlegierte Stahlwerkstoffe (z.B. 1.4301, 1.4541, 1.4376[H400],...)
- mit und ohne Oberflächenveredelung (wo verfügbar)
- Dreiblechschweißungen in aufsteigender Blechdicken- und Leitfähigkeitskombination (kritischer Fall)
- Anlagentechnik DC (Inverter)

Exemplarisch werden auch kritisch erscheinende Zweiblechkombinationen getestet sowie Tastversuche an Kombinationen mit mehr als 3 Blechen durchgeführt.

3.2.2 Arbeitsschritte

Nach der Auflistung des Lösungsweges werden im Folgenden einzelne Versuchsabschnitte weiter unten (→...) genauer erläutert, um Zielstellung, Weg und den dafür erforderlichen Aufwand zu verdeutlichen.

Der vorgesehene Lösungsweg stellt sich wie folgt dar:

- Es wird davon ausgegangen, dass die von der Forschungsstelle vorgeschlagenen drei Materialkombinationen als Grundlage für die Untersuchung genutzt werden (→3.2.2.1).
- Vorbereitung der zu verwendenden Anlagentechnik, Vorbereitung der Messtechnik
- Versuchsplanung (→3.2.2.2)
 - Planung mit Hilfe statistischer Methoden
 - Reduzierung des Aufwandes
 - Optimierung der Aussage
- Materialbeschaffung und –Vorbereitung(→)
- Referenzeinstellung als Einimpulsschweißung (optimierte Einimpulsschweißung angelehnt an Richtwerttabellen)
- Versuche zur Verbesserung der Linseneindringtiefe durch:
 - Stromprogramme (→3.2.2.4)
 - Mehrimpulsschweißung konventionell
 - unterschiedliche Stromblöcke
 - Vorwärmstrom und Nachimpuls
 - Stromanstieg
 - Vorimpuls
 - Kraftprogramme (→3.2.2.5)
 - Kombination Strom-/Kraftprogramme (→3.2.2.6)
 - Polarität (→3.2.2.7)
 - Elektrodenkombination (→3.2.2.8)
 - Kappengeometrie
 - Elektrodenwerkstoffe
 - Beschichtung der Kontaktfläche
 - exemplarisch Verwendung von Bandzwischenelektroden („Deltaspot“ bzw. ähnliches Prinzip)
- Versuche zur Abschätzung der Fertigungssicherheit
 - Verhalten über einen Fräszyklus (bis ca. 200 Punkte)
 - Verhalten bei wechselnder Polarität
 - Verhalten bei anlegierter Elektrode bei im Wechsel geschweißten Kombinationen
 - Einfluss der Kühlbedingungen
- Verifikation ausgewählter Maßnahmen an verschiedenen Schweißaufgaben
 - Festlegung weiterer zu untersuchender Varianten durch die Forschungsstelle
 - Planung der Versuchsvarianten mittels statistischen Methoden (DOE)
 - Simulationsrechnung ausgewählter Varianten incl. Verifikation (z.B. SORPAS)
 - Systematische Füllung fehlender Untersuchungsbereiche
 - Zwei- und Dreiblechkombinationen sowie exemplarisch Mehrblechvarianten
 - Tests an Realbauteilen bzw. realitätsähnlichen Proben mit simulierter schlechter Passung
- Auswertung
 - grafische und tabellarische Darstellungen
 - Versuch eine „Formel“ für die Praxis zu entwickeln („geometrische“ Vergleichsblechdicke)
- Berichterstellung (→3.2.2.9)
 - Empfehlungen für die Praxis
 - Darstellung der Ergebnisse im Hinblick auf die Merkblätterstellung optimiert
 - Erster Entwurf Merkblatt

3.2.2.1 Materialkombinationen

Für die Durchführungen der Hauptversuche werden drei Materialkombinationen eingesetzt. Nach Vorversuchen der Forschungsstelle haben sich die ersten beiden Varianten als nicht einfach schweißbar erwiesen und zeigten insbesondere in der Schliiffuntersuchung eine stark einseitige Linsenbildung. Bei der dritten Kombination „C“ handelt es sich um eine Variante der beiden vorherigen, die noch stärkere Effekte zeigen sollte.

Art:	Variante		
	A	B	C
	<i>Zweiblech</i>	<i>Dreiblech</i>	<i>Dreiblech</i>
Blech 1:	DX54D +Z100 [0,6 mm]	DX54D +Z100 [0,6 mm]	DX54D +Z100 [0,6 mm]
Blech 2:	Edelstahl (H400) [2,0 mm]	22MnB5 (USIBOR, ULTRAFORM) [1,5 mm]	22MnB5 (USIBOR, ULTRAFORM) [1,5 mm]
Blech 3:		22MnB5 (USIBOR, ULTRAFORM) [1,8 mm]	Edelstahl (H400) [2,0 mm]

Tab. 2: Materialkombinationen Hauptversuche

3.2.2.2 Versuchsplanung

Die Durchführung der Versuche ist, wie auch die folgenden Beschreibungen zeigen, sehr komplex. Zur Reduzierung des Aufwandes sollen die durchzuführenden Versuche daher mit Methoden der statistischen Versuchsplanung festgelegt werden.

Weiterhin werden einige Effekte vorab mit Hilfe eines Simulationsprogrammes für das Widerstandsschweißen untersucht, um sinnvolle Untersuchungsbereiche abgrenzen zu können. Selbstverständlich werden die Simulationsergebnisse exemplarisch mit realen Versuchsergebnissen verglichen und überprüft.

3.2.2.3 Material

Die Materialien für die Haupt- und Validierungsversuche werden beschafft. Bei der endgültigen Auswahl können auch noch aktuelle Entwicklungen berücksichtigt werden.

Die Kennwerte der Materialien incl. der elektrischen und thermischen Leitfähigkeit werden so weit möglich von den Lieferanten abgefragt und für den Bericht dokumentiert. Wo Lücken bestehen bzw. Unstimmigkeiten auftreten wird versucht die fehlenden Werte, z.B. für die el. Leitfähigkeit, selbst zu ermitteln. Diese Werte sind darüberhinaus wichtig, um im Arbeitsabschnitt „Validierung“ geeignete Kombinationen auswählen zu können. Im Übrigen unterscheiden sich die in der Literatur genannten Werte der elektrischen Leitfähigkeit zum Teil erheblich – beispielsweise wird in [17] für „Austenit“ ein Wert von 3,5 angenommen, in Datenblättern der TKS wird nur 1,4 genannt.

3.2.2.4 Stromprogramme

Entsprechend den Informationen aus der Literatur und eigenen Überlegungen werden die folgenden Varianten untersucht:

- Mehrimpulsschweißung konventionell
- unterschiedliche Stromblöcke
- Vorwärmstrom und Nachimpuls
- Stromanstieg
- Vorimpuls

- 1 Schließzeit einschließlich 10;
- 2 Öffnungszeit;
- 3 Ruhezeit;
- 10 Bogenzeit beim Schließen;
- 11 Druckzeit;
- 12 Druckruhezeit;
- 13 Preßzeit einschließlich 17;
- 14 Vorpreßzeit einschließlich 17;
- 15 Schweißpreßzeit einschließlich 18a;
- 16 Nachpreßzeit einschließlich 17a;
- 17 Druckanstiegzeit;
- 17a Druckabfallzeit;
- 18 Druckabfallzeit;
- 18a Druckabfallzeit;
- 19 Offenhaltezeit;
- 21 Bei a u. d: Stromzeit;
bei b u. e: Stromzeit mit Pausen;
bei c: Schweißstromzeit;
- 22 Vorwärmzeit;
- 23 Nachwärmzeit;
- 24 Stromruhezeit;
- 25 Stromzeit¹ (beim Schweißen);
- 25a Stromzeit¹ (beim Vorwärmen);
- 25b Stromzeit¹ (beim Nachwärmen);
- 26 Strompause² (beim Schweißen);
- 26a Strompause² (beim Vorwärmen);
- 26b Strompause² (beim Nachwärmen);
- 27 Wärmeausgleichzeit;
- 28 Kühlzeit;
- 31 Stromanstiegzeit;
- 32 Stromabfallzeit;
- 41 Vorhaltezeit;
- 41a Schweißverzögerungszeit;
- 42 Nachhaltezeit;
- 43 Schmiedezeit

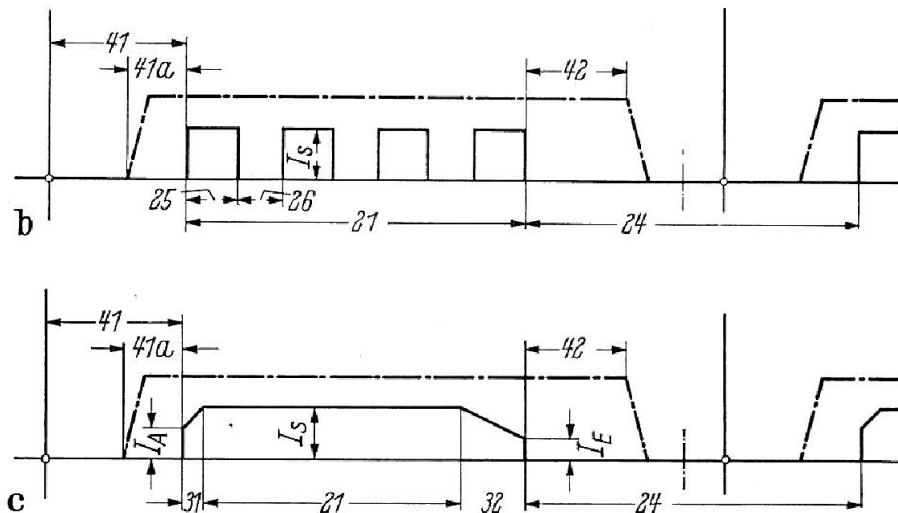


Bild 11: Stromprogramme aus [7] bzw. [8]
b = konventionelle Mehrimpulsschweißung c = Stromanstieg und -abfall

Wie die exemplarische Darstellung verschiedener Einstellparameter für konventionelle Stromprogramme in Bild 11 zeigt, sind die einzelnen Parameter zur Erstellung von Stromprogrammen vielfältig.

Variiert werden: Stromeinstellung für jeden Impuls, Anzahl der Impulse, Pausenzeiten, Stromzeiten für jeden Impuls, Stromanstieg.

3.2.2.5 Kraftprogramme

Sinn eines Kraftprogramms ist hier, die Übergangswiderstände speziell in der Verbindungsebene des normalfesten dünnen feuerverzinkten Materials hoch genug zu halten um eine für das Aufschmelzen ausreichende Wärme zu erhalten „Phase 1“. Dafür ist zunächst eine niedrige Elektrodenkraft erforderlich. Im nachfolgenden Schweißprozess muss dann allerdings die Elektrodenkraft erhöht werden, um Spritzer in der Ebene der hochfesten, schlecht leitfähigen Materialien zu vermeiden „Phase 2“.

Ausdrücklich soll hier ohne Änderung des Schweißstromes gearbeitet werden, um die Einstellung der Parameter in der Fertigung möglichst einfach zu gestalten.

Variiert werden: Schweißstrom sowie Schweißzeit, Elektrodenkraft für die erste und zweite Schweißphase sowie der Umschaltzeitpunkt zwischen den Kraftstufen.

3.2.2.6 kombiniertes Kraft-/Stromprogramm

Kraft-/Stromprogramme kombinieren die Effekte aus den beiden vorherigen Versuchsabschnitten. Durch den zusätzlich zu verändernden Parameter Schweißstrom kann genauer in den Schweißablauf eingegriffen werden, siehe hierzu auch Bild 10. Allerdings gestaltet sich die Einstellung bzw. Abstimmung der Parameter aufeinander auch aufwändiger.

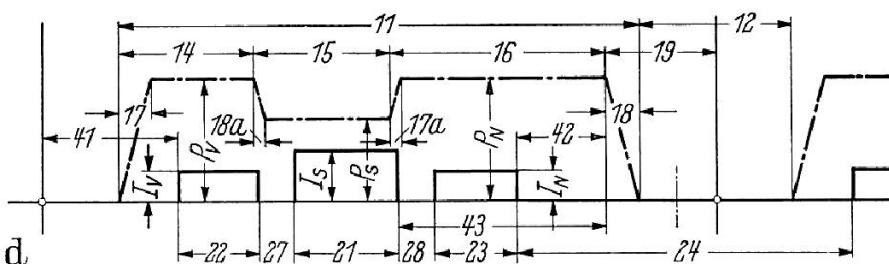


Bild 12: Kraft-/Stromprogramm aus [7] bzw. [8]; Legende siehe Bild 11

Im Unterschied zu der Darstellung in Bild 12 wird die Elektrodenkraft zu Beginn der Schweißung niedriger, der Strom höher sein. Die dort auch dargestellte Nachwärmphase wird nicht verwendet.

Variiert werden sollen Stromeinstellung für jeden Impuls, Pausenzeit, Stromzeiten für jeden Impuls, ggf. Stromanstieg, Elektrodenkraft für die erste und zweite Schweißphase sowie der Umschaltzeitpunkt zwischen den Kraftstufen.

Besonders wichtig ist voraussichtlich die Synchronisation zwischen Kraftanstieg und Stromumschaltung von Phase 1 zu Phase 2. Auch eine servomotorische Zange wird hier nicht verzögerungsfrei arbeiten können, weshalb auch verschiedene Einstellungen als „Störgröße“ getestet werden. Damit sollen

Anhaltswerte ermittelt werden, um diesbezüglich Empfehlungen für den Einsatz in der Praxis aussprechen zu können.

3.2.2.7 Polarität

Insbesondere für Aluminiumschweißungen wird beschrieben, dass die Polarität einen Einfluß auf die Geometrie und Lage der Schweißlinse hat. Auch bei Stahlblechen ist dieses Verhalten schon beobachtet worden, allerdings nur bei bestimmten Materialkombinationen [28].

Variiert werden: DC +Pol, DC –Pol, AC. Diese Versuche erfolgen an einer Anlage, die den Wechsel zwischen den beiden Stromarten erlaubt. Hierdurch können verfälschende Einflüsse durch unterschiedliches mechanisches Maschinenverhalten und Kühleinflüsse minimiert werden.

3.2.2.8 Elektroden

In [18] wird beschrieben, dass ca. 59% der Verlustwärme durch die Elektroden abgeführt wird. Durch diesen Abkühleffekt von der Außenseite des Blechs wird auch die tiefere Aufschmelzung des Materials, d.h. Linseneindringtiefe, stark negativ beeinflusst.

Führt man diesen Gedanken weiter, so könnte durch Beeinflussung der Wärme (Zu- und Abfuhr) die Linsenposition beeinflusst werden. Dafür stehen prinzipiell verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, die entsprechend den Anforderungen kombiniert werden können bzw. müssen:

- Veränderung der Wärmezufuhr/Wärmeableitung
 - Änderung des Materials der kompletten Elektrode (unterschiedliche Kappen)
 - Elektrodengeometrie(n)
 - Beschichtung der Elektrode
 - Verwendung einer Zwischenelektrode / Band
 - Veränderung der Elektrodentemperatur

In Bild 13 werden verschiedene Elektrodenwerkstoffe und ihre elektrische Leitfähigkeit aufgelistet. Die thermische Leitfähigkeit ist eng an die elektrische Leitfähigkeit gekoppelt. Der für das Punktschweißen von Stahlblechen übliche Werkstoff CuCrZr liegt mit ca. $47\text{m}/\Omega\text{mm}^2$ zwischen z.B. CuCoBe und CuAg, die exemplarisch als Vergleichswerkstoffe relativ einfach beschafft werden könnten. Es werden aber auch andere schlechter als CuCrZr leitende Cu-Legierungen sowie Elektroden mit Wolframeinsätzen in die Untersuchung einbezogen.

Legierung	Kurzzeichen	Härte H_B kp/mm ²	Erweichungs- temperatur °C	elektrische Leitfähigkeit	
				absolut m/Ω mm ²	bezogen auf Cu %
Elektrodenkupfer	E-Cu	85 ... 105	150 ... 200	57	100
Kupfer-Kadmium	Cu-Cd	115 ... 140	250 ... 300	45	79
Kupfer-Silber	Cu-Ag	80 ... 120	300 ... 400	54	95
Kupfer-Silber-Kadmium	Cu-Ag-Cd	145 ... 170	300 ... 400	38	67
Kupfer-Chrom	Cu-Cr	140 ... 170	400 ... 500	51	90
Kupfer-Chrom-Zirkon	Cu-Cr-Zr	165 ... 180	450 ... 500	47	82
Kupfer-Chrom-Molybdän	Cu-Cr-Mo	150 ... 200	800	20	35
Kupfer-Beryllium	Cu-Be	140 ... 290		42	74
Kupfer-Beryllium-Kobalt	Cu-Be-Co	200 ... 240	500	29	51
Kupfer-Wolfram	Cu-W	210 ... 240	1000	20	35
Wolfram	W	280	1000	19	33

Bild 13: Kennwerte von Elektrodenwerkstoffen [15]

Beschichtete Elektroden werden in Deutschland nach Kenntnis der Forschungsstelle bislang nicht großflächig in der Serienfertigung eingesetzt. In Nordamerika scheinen diese Werkstoffe jedoch häufig erfolgreich eingesetzt zu werden. Dort bietet eine Firma, mit der die Forschungsstelle bereits Kontakt aufgenommen hat, mit Titancarbid beschichtete Kappen an [34]. Schwerpunkt für den Einsatz ist hier bislang wohl eher die Schweißung von Aluminium. Der Hersteller beschreibt aber auch positive Ergebnisse bei beschichteten Stahlwerkstoffen verschiedener Qualität. Eine geeignete Kombination von Elektroden könnte zu einer günstigen Beeinflussung der Wärmez- und -abfuhr und damit der Linsenposition auch beim Schweißen von anspruchsvollen Stahlblechverbindungen führen.

Das praktisch gleiche Prinzip wird mit der Verwendung einer Bandzwischenlektrode [33] verfolgt. Der Forschungsstelle steht eine Deltaspot-Anlage zur Verfügung, auf der entsprechende Versuche durchgeführt werden können. Um die Vergleichbarkeit mit den übrigen Versuchen zu gewährleisten, werden in einem Vergleichsversuch Bandzwischenlektroden manuell zwischen die Elektroden der für die Mehrzahl der übrigen Versuche verwendeten konventionellen Schweißzange positioniert.

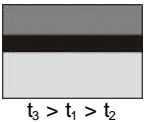


Um die Auswirkung z.B. schlechter Kühlung auf die Linsenposition zu testen, wird bei einer Kombination die Kühlung absichtlich verschlechtert, d.h. es wird mit einseitig sehr hoher Elektroden temperatur geschweißt. Dies ist nicht so zu verstehen, dass hier die Empfehlung gegeben werden soll mit unzureichender Kühlung zu schweißen, es sollen vielmehr die möglicherweise ungünstigen Störeinflüsse unzureichender Kühlung nachgewiesen werden.

3.2.2.9 Auswertung und Berichterstellung

Die Versuche werden mit den entsprechenden tabellarischen und grafischen Darstellungen dokumentiert. Wie in DVS-Arbeitsgruppen und FA4 angesprochen soll versucht werden, eine „Formel“ zur Festlegung von Dickenkombinationen festzulegen.

Die Vorgehensweise könnte sich dann später wie folgt darstellen:

1. Bewertung der Einzelblechdicken unter Berücksichtigung des Werkstoffes (elektrische und thermische Leitfähigkeit) -> berechnete bewertete Blechdicke
2. Einsetzen dieser Blechdicke(n) in die Formeln zur Ermittlung der Zulässigkeit des Blechdickenverhältnisses
3. Festlegung ggf. erforderlicher Maßnahmen zur Beherrschung der Kombination, auch wenn sie mit „normaler“ Schweißtechnik nicht beherrschbar sind

	Kombination t1 (oben) t2 (mitte) t3 (unten)	zu bewerten ist:	Blechdickenverhältnis bei Anwendung von...				
			normales Einimpuls- programm	Impuls- schweißung	Kraft-Strom- Programm	Elektroden- mix	...
x	 t ₃ > t ₁ > t ₂	t ₃ / t ₁ ≤	2	2,5	4	3	...
y	 t ₂ > t ₃ > t ₁	...	...	...	...	...	...
z	 t ₁ < t ₂ < t ₃	...	...	...	...	...	...

Tab. 3: Entwurf einer Tabelle mit Empfehlungen für die Praxis (fiktive Werte!)

Die berechnete bewertete Blechdicke könnte sich, angelehnt an den Schweißbarkeitsfaktor nach Pfeifer, aus der Leitfähigkeit (thermisch+elektrisch) und der tatsächlichen Blechdicke errechnen.

Legt man, stark vereinfacht, das Blechmaterial unter der Elektrodenkontaktfläche als Leitungstück zu Grunde, so ist dessen Widerstand:

$$R_{Bl} = \frac{t_{Bl} \cdot 4}{K \cdot d_{El}^2 \cdot \pi \cdot 1000}$$

(t_{Bl} = Blechdicke [mm])
K = Leitfähigkeit [m/Ωmm²]
d_{El} = Elektrodenkontaktflächendurchmesser [mm])

Nimmt man z.B. für ein Blech mit einer Dicke von 1,0 mm den Elektrodenkontaktflächendurchmesser mit 6 mm an und geht von einem üblichen Stahlblech mit ca. 10 m/Ωmm² aus, so errechnet sich der Stoffwiderstand des Bleches zu 4 μΩ. Bei einem Edelstahlblech mit 1,4 m/Ωmm² und sonst gleichen Bedingungen wären dies 25 μΩ, siehe hierzu auch Bild 14.

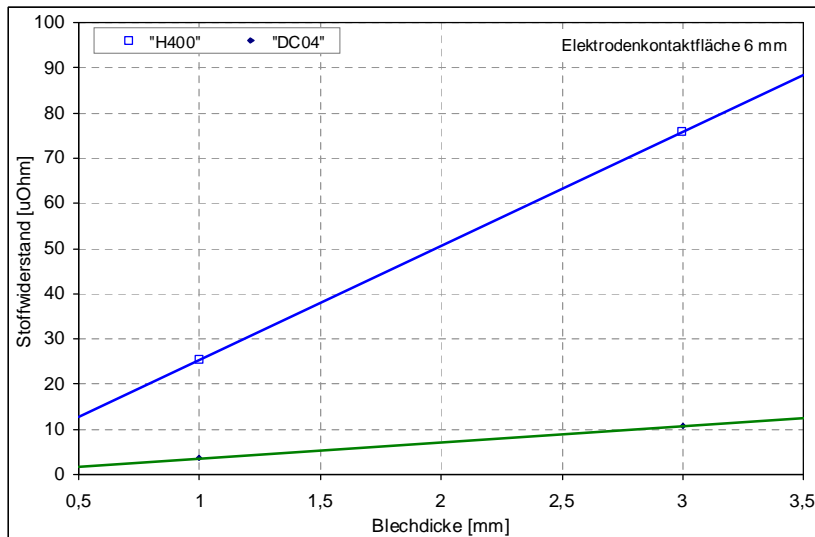


Bild 14: Beispiel für Stoffwiderstände unterschiedlicher Materialien in Abhängigkeit der Blechdicke
 Anm.1: es wurden für die Erstellung keine abgesicherten Leitfähigkeitswerte genutzt!
 Anm.2: bei Blechdicken >1,5 mm würden in der Regel größere Kontaktflächendurchmesser verwendet

3.2.3 Personaleinsatz

Der Arbeitsumfang dieses Vorhabens ist aufgrund der Vielzahl zu variierender Parameter als umfangreich einzustufen. Deshalb sollen die Versuche auch durch Anwendung von Methoden der statistischen Versuchsplanung (DOE) in Grenzen gehalten werden. Weiterhin ist für die Durchführung qualifiziertes Personal erforderlich, weshalb anstelle eines Schweißers/Schlossers die Schweißungen und vorbereitenden Arbeiten von einem Ingenieur bzw. Techniker durchgeführt werden müssen um qualitativ optimale Ergebnisse zu erhalten.

Die Aufgabe des wissenschaftlichen Mitarbeiters ist die Planung und Modifikation der Anlagentechnik, Planung und Durchführung bzw. Überwachung der Versuche sowie die Auswertung und Erstellung des Abschlussberichts.

Der Techniker unterstützt bei diesen Arbeiten. Er ist speziell für die Installation der Geräte sowie zusätzlicher Meßtechnik, exakte Vorbereitung der Proben sowie für die Durchführung und Prüfung der Schweißungen verantwortlich.

Der Metallograf ist für die Präparation und Herstellung sowie Auswertung der Schliffproben zuständig, die den Nachweis für die erreichten Änderungen in der Linsenposition erbringen müssen.

Die studentische Hilfskraft erstellt für die Durchführung der Arbeiten erforderliche Formulare, fertigt Tabellen und Diagramme an, unterstützt bei den Schweiß- und Prüfarbeiten sowie bei der Auswertung und Zusammenfassung im Bericht.

3.3 Zeitplan über Arbeitsschritte und Personaleinsatz

Arbeitsprogramm	1. Projektjahr (Quartale)				2. Projektjahr (Quartale)																			
	1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.																
Versuchsplanung, Festlegung der Versuchsreihen / DOE																								
Vorbereitung der Anlagentechnik und Messtechnik																								
Beschaffung und Vorbereitung des Versuchsmaterials																								
Ermittlung kritischer Kombinationen, Ermittlung von Vergleichswerten																								
Versuche zur Optimierung mittels Parameteranpassungen, Strom- und Kraftprogramme																								
Versuche zur Optimierung mittels Elektroden und Anlagentechnik																								
Begleitende Prüfung und Auswertung																								
abschliessende Auswertung und Berichterstellung																								
wissenschaftlicher Mitarbeiter 20 MM	1	1	1	1	1	1	1	1	.5	.5	.5	.5	1	1	1	1	.5	.5	.5	.5	1	1	1	1
Techniker 20 MM	.5	.5	1	1	1	1	.5	.5	.5	.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Metallograf/Laborant 8 MM			.3	.3	.3	.3	.4	.4	.4	.4	.4	.4	.4	.4	.4	.4	.4	.4	.4	.4	.5	.5	.5	.5
studentische Hilfskraft 24 MM	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

3.4 Zusammensetzung des PbA

- AEG SVS Herr Hazic kmU
- ALIA Technik Herr Rusch kmU
- DALEX Herr Reinhardt kmU
- Düring Schweißtechnik Herr Düring kmU
- Harms+Wende GmbH & Co. KG Herr Bothfeld / Herr Jansen kmU
- Koch Schweißtechnik Herr Koch kmU
- NIMAK Herr Nagel / N.N. kmU
- Volkswagen AG Herr Graul
- TKS Herr Dr. Beenken
- TK Nirosta Herr Lindner
- Daimler AG Sindelfingen Herr Ruther
- Daimler AG Ulm Herr Mößle

Es haben inzwischen noch ca. 5 weitere Personen, sowohl aus kmU als auch Großindustrie, ihr Interesse an der Mitwirkung im PbA bekundet und werden entsprechend berücksichtigt.

Informationen zu den PbA-Mitgliedern:

Die meisten Herstellerfirmen von Schweißausrüstung beliefern sowohl die Großindustrie als auch zahlreiche kmU. Deshalb sind alle beteiligten PBA-Mitglieder bereits aus ihrer täglichen Praxis mit der Problemstellung vertraut und haben ein hohes Interesse an Lösungswegen.

Die Firma AEG SVS ist Hersteller von Elektroden und kann dementsprechend in dem Versuchsabschnitt „Einfluss der Elektroden“ ihre Kenntnisse einbringen und Elektrodenwerkstoffe beistellen.

Die Firma ALIA-Technik ist Hersteller von Schweißstromquellen zum Widerstandsschweißen und besonders im Bereich der Kfz-Reparaturanlagen tätig und mit den dort auftretenden Problemen bestens vertraut. Dementsprechend kann sie gerade hier den Bereich der kmU sehr gut vertreten und wertvolle Impulse für das Vorhaben geben.

Die Firma DÜRING ist Hersteller von Schweißanlagen und Schweißzangen. Sie wird für dieses Vorhaben eine Schweißzange beistellen und ggf. optimieren, mit der z.B. die geplanten Kraftprogramme während der Schweißung möglich sind.

Die Firma HARMS+WENDE ist Hersteller von Schweißsteuerungen. Sie wird Schweißsteuerungen zur Verfügung stellen, die mit den für die Untersuchung geplanten Schweißzangen betrieben werden und die

Programmierung von Strom-/Kraftprogrammen ermöglichen. Darüber hinaus wird Harms+Wende die Untersuchungen durch Simulationsrechnungen zu ausgewählten Aufgaben unterstützen.

Die Firma KOCH Schweißtechnik führt im Auftrag z.B. von Anlagenbauern Grundeinstellungen und Optimierungsarbeiten an Schweißanlagen durch. Dementsprechend ist sie häufig mit den Problemen bei der Schweißung asymmetrischer Blechkombinationen konfrontiert und hat ein hohes Interesse an Wegen zur Lösung.

Die Firmen TKS und TK Nirosta sind als Hersteller der zu untersuchenden Materialien sehr interessiert an dem Vorhaben, um auch ihren Kunden tiefer gehende Informationen und Tipps liefern zu können. Selbstverständlich werden von ihnen auch die im Rahmen des Projekts erforderlichen Werkstoffe beigestellt.

Die Firma DAIMLER AG hat als Fahrzeughersteller ein starkes Interesse an dem Vorhaben und hat sich bereit erklärt einige Realbauteile für Versuche zur Verfügung zu stellen.

4. Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas für kleine und mittlere Unternehmen (kmU)

4.1 Voraussichtliche Nutzung der angestrebten Forschungsergebnisse

In der Blech verarbeitenden Industrie, die Konstruktionsteile mit höherfesten und oder nichtrostenden Blechwerkstoffen zu fügen hat, können die Ergebnisse sehr gut genutzt werden. Dies ist schwerpunktmässig der Automobilbau und dessen Zulieferer, aber auch der Hausgerätebau.

Allein der Automobilbereich sind nach [32] bei Herstellern und Zulieferern über 770.000 direkt Beschäftigte tätig, inklusive vorgelagerter Industrie wie Anlagenbauern sowie nachgelagerten wie Handel und Reparaturgewerbe kommt der Autor auf eine Gesamtzahl von über 5 Millionen, etwa jeder siebte Arbeitnehmer in Deutschland. Etwa 20% des Bruttosozialproduktes wird in diesem Bereich erwirtschaftet. Dabei ist die Exportabhängigkeit mit 71% relativ hoch. Kosten- und Wettbewerbsdruck werden als hoch eingestuft.

Diese Argumente machen klar, dass das hier beantragte Vorhaben allein in der automobilen Sparte eine weitreichende Unterstützung zur Stärkung der heimischen Industrie liefern kann.

4.2 Möglicher Beitrag zur Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der kmU

Zahlreiche kmU arbeiten heute als Zulieferer für die Automobilindustrie und haben weder die Kapazität und Möglichkeit für eigene FuE-Arbeiten noch Zeit für aufwändige Optimierungsarbeiten an sich als problematisch erweisenden Verbindungen. Auch Anlagenbauern und Maschinenlieferanten, häufig kmU, fehlen meist die Kenntnisse ihre Anlagen für die in diesem Vorhaben zu untersuchende Problemstellung optimal auszulegen.

Speziell diese Firmen werden durch Nutzung der hier erarbeiteten Ergebnisse (z.B. Merkblatt) in die Lage versetzt, relativ einfach abzuschätzen ob bestimmte Schweißaufgaben durchgeführt werden können und welcher Aufwand dafür nötig ist. Die Abschätzung der erforderlichen Investition für bestimmte für die Durchführung der Aufgabe erforderliche Anlagentechnik sei nur beispielhaft genannt.

Die Ergebnisse des Vorhabens können dazu führen, dass bereits der Konstrukteur durch Kenntnis der Verfahrensgrenzen Zusatzkosten vermeidet.

Im Idealfall wird es durch Anwendung der im Vorhaben erarbeiteten Massnahmen möglich sein, bislang nicht sicher zu verschweißende Kombinationen mit einer guten Qualität zu fügen.

Dies führt zu Kosteneinsparungen, die die heimische Industrie stärken wird.

Unter Anwendung der Ergebnisse des Vorhabens können die kmU direkt durch Minimierung des Ausschusses und Optimierung der Produktqualität Wettbewerbsvorteile erzielen.

5. Beabsichtigter Transfer der angestrebten Forschungsergebnisse

Im Verlauf der Projektlaufzeit werden die Ergebnisse regelmässig dem PBA, dem FA4 sowie interessierten Arbeitsgruppen der AG V3 vorgestellt und dort diskutiert.

Auf Basis der Ergebnisse wird ein Merkblattentwurf erstellt, der innerhalb der DVS-Arbeitsgruppen AGV3.2 oder 3.4 zu einem DVS-Merkblatt ausgearbeitet wird.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens werden im Rahmen von Beiträgen in den Publikationen des DVS (Schweißen und Schneiden, Praktiker) veröffentlicht sowie auf Fachtagungen und Gremien des DVS, z.B. dem „Treffpunkt Widerstandsschweißen“ sowie dem „FA 4/AG V3-Gemeinschaftskolloquium“, präsentiert.

In der SLV-Duisburg werden Vorträge bzw. Unterrichtseinheiten in verschiedenen Lehrgängen zum Widerstandsschweißen, wie z.B. „Fachmann für das Widerstandsschweißen“, „Widerstandspunktschweißen höherfester Stahlbleche und Dreiblechkombinationen“, „Erfahrungsaustausch Widerstandsschweißen“ etc. zur Verbreitung der Ergebnisse eingeplant.

Weiterhin fließen die gewonnenen Kenntnisse direkt in die Beratungstätigkeit der SLV-Duisburg ein, so dass ein direkter Transfer in die kmU gegeben ist.

6. Durchführende Forschungsstelle

Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt

SLV Duisburg NL der GSI mbH

Bismarckstraße 85

47057 Duisburg

Tel. 0203/3781-0

Forschungsstellenleiter:	Dr.-Ing. Steffen Keitel
Projektleiter:	Dr.-Ing. Reinhard Winkler
Bearbeiter:	Dipl.-Ing. Stefan Schreiber

Duisburg, Januar 2009

Dr.-Ing. R. Winkler

7. Literaturverzeichnis

- [1] DVS 2902 Teil 3
Widerstandspunktschweißen von Stählen bis 3 mm Einzeldicke - Konstruktion und Berechnung
- [2] DIN EN ISO 14329
Zerstörende Prüfung von Schweißverbindungen ; Dez.2003
- [3] AIF 11.373N, SLV Duisburg, 1998-2000
Erarbeitung einer Technologie zum Herstellen von zweischnittigen Punktschweißverbindungen
- [4] AIF 12.618N, SLV Duisburg und ISAF Clausthal, 2000-2002
Untersuchungen zum Widerstandspunktschweißen von Feinblechen aus neuentwickelten höher- und höchstfesten Stahlwerkstoffen
- [5] Mallory & Co
Resistance Welding Data Book
4th edition , 1951
- [6] Oppenheim, R. und Brand, W.D.
Bedingungen für das Widerstands-Punktschweißen von nichtrostenden 18/8 Chrom-Nickel-Stählen
Schweißen und Schneiden, Jahrgang 13 (1961)
- [7] Brunst / Fahrenbach
Widerstandsschweißen
Springer-Verlag 1962
- [8] DIN 44753:1966 (zurückgezogen, bislang kein adäquater endgültiger Ersatz)
Elektrische Punkt-, Buckel- und Nahtschweißmaschinen sowie Punkt- und Nahtschweißgeräte
- [9] Welding Handbook - Section 2
American Welding Society 1964
- [10] Vom elektrischen Widerstandsschweißen
Firmenbroschüre der Brown, Boveri & CIE.AG., Mannheim (Ind/E 9047/S 8.56.800) ; ca.1965?
- [11] Gengenbach, O.
Untersuchungen über die Stromverteilung, den Wärmefluß und die Temperaturverteilung in der
Umgebung von Widerstandsschweißpunkten
aus: Widerstandsschweißen III und Mikrofügeverfahren;
Vorträge der 6.Stuttgarter Sondertagung 1965; DVS-Verlag
- [12] Fiala, H.
Erfahrungen in der Widerstandsschweißtechnik im Flugzeugbau
aus: Widerstandsschweißen III und Mikrofügeverfahren;
Vorträge der 6.Stuttgarter Sondertagung 1965; DVS-Verlag
- [13] Schlosser, W.
Widerstandsschweißen von hochlegierten Werkstoffen im Triebwerksbau
aus: Widerstandsschweißen III und Mikrofügeverfahren;
Vorträge der 6.Stuttgarter Sondertagung 1965; DVS-Verlag
- [14] Rohrmann, P.
Erfahrungen mit der Widerstandsschweißtechnik bei der Fertigung der dritten Stufe der
Europarakete
aus: Widerstandsschweißen III und Mikrofügeverfahren;
Vorträge der 6.Stuttgarter Sondertagung 1965; DVS-Verlag
- [15] Schreiber, Max-Heinz
Elektrodenwerkstoffe für das Widerstandsschweißen
Der Praktiker Schweißen und Schneiden 1965, Heft 6
- [16] Dengler, E.
Vielpunktschweißen sendzimirverzinkter Feinbleche
aus: Widerstandsschweißen IV und Mikrofügeverfahren;
Vorträge der 7.Stuttgarter Sondertagung 1967; DVS-Verlag

- [17] Pfeifer, Lorenz
Fachkunde des Widerstandsschweißens
Girardet 1969
- [18] Hüttner, Heinz
Kalorimetrische Messungen beim Widerstandspunktschweißen
ZIS-Mitteilungen, Heft 10/69
- [19] Schmiedgen, Dietmar
Schweißlinsenbildung beim Widerstandspunktschweißen und deren Beeinflussung durch den
Kontaktwiderstand
ZIS-Mitteilungen, Heft 10/69
- [20] Schmiedgen, Dietmar
Schweißlinsenbildung beim Punkt- und Buckelschweißen
ZIS-Mitteilungen, Heft 4/72
- [21] Richter, Friedhelm
Die wichtigsten physikalischen Eigenschaften von 52 Eisenwerkstoffen
Stahleisen Sonderberichte, Heft 8, 1973
- [22] Richter, Friedhelm
Physikalische Eigenschaften von Stählen und ihre Temperaturabhängigkeit
Stahleisen Sonderberichte, Heft 10, 1983
- [23] Gruber, Franz
Widerstandsschweißtechnik
Die Bibliothek der Technik, Band 147; 1997; ISBN 3-478-93171-1
- [24] Harlin, N. ; Jones, T.B. ; Parker, J.D.
Weld growth mechanisms during resistance spot welding of two and three thickness lap joints
Science and Technology of Welding and Joining 2002, Vol.7, No.1
- [25] Resistance Welding Manual
RWMA, 4th Edition, 2003
- [26] Ikeda, Rinsei ; Okita, Yasuaki ; Ono, Moriaki
Development of New Resistance Spot Welding Process for Three Sheet Joints Using Electrode
Force Control
aus: 5th International Seminar on Advances in Resistance Welding; Toronto 2008
- [27] AiF 15.115B, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Restlaufzeit bis 2009
Untersuchung zur Erhöhung der Qualität beim Widerstandspunktschweißen von hoch- und
höchstfesten ferritischen sowie hochlegierten austenitischen Stählen
- [28] Untersuchungen der SLV-Duisburg
- [29] Mitteilungen aus der Industrie
- [30] Werksnormen zum Punktschweißen aus der Automobilindustrie
- [31] Informationen von TKS / ATZ / Porsche Engineering Magazine
- [32] Roth, Siegfried
Informatisierung in der Automobilindustrie
Tagung "Informatisierung der Arbeit - Gesellschaft im Umbruch", Darmstadt, 28.1.2005
- [33] Stieglbauer, Walter
Deltaspot – auf den Punkt gebracht...
aus: Seminar „Erfahrungsaustausch Widerstandsschweißen“, SLV-Duisburg 2006
- [34] <http://www.huysindustries.com>