

## Lichtbogenbolzenschweißen - zuverlässig auch bei dünnen beschichteten Blechen?

### Einführung

Zum Bolzenschweißen dünner Bleche (hier von ca. 0,5 bis ca. 2,75 mm Blechdicke) eignen sich nur Schweißverfahren, die einen geringen Einbrand aufweisen. I.a. werden Bolzen bis 8 mm, meistens aber 3 bis 6 mm geschweißt. In der Serien-, besonders aber in der Massenfertigung (z.B. "weiße Ware", Komponenten für Fahrzeuge) kommen immer mehr beschichtete Bleche zum Einsatz, wobei man wegen Kosten- und Gewichtsersparnis auf möglichst geringe Dicken, aber auch auf möglichst wenig Nacharbeit Wert legt. Vom Schweißverfahren verlangt man oft, daß die Teile nach dem Bolzenschweißen einbaufertig oder lackierfähig ohne Waschvorgang sind. Daß der Ausschuß nahezu Null sein soll, braucht nicht besonders betont zu werden.

Dem Anwender stellen sich daher mehrere Aufgaben:

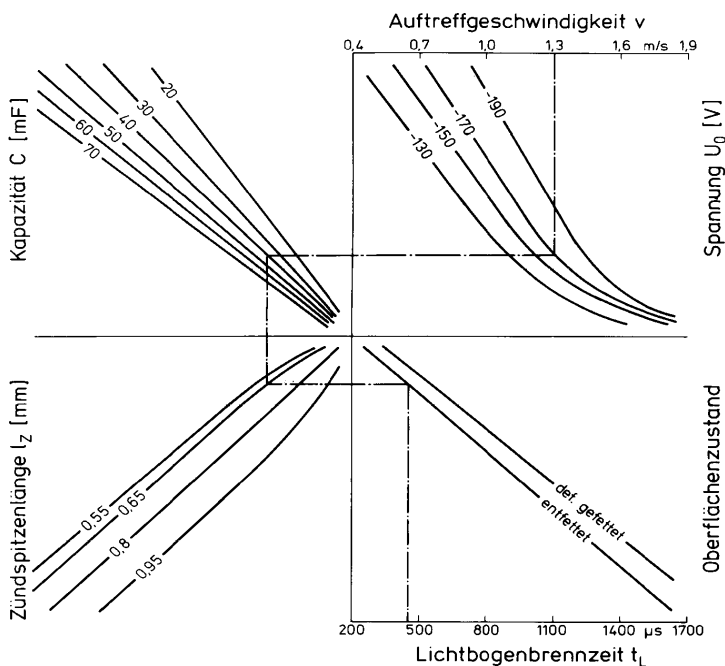
1. Die Schweißenergie muß so hoch sein, daß eine einwandfreie Schweißqualität erreicht wird, d.h. die Beschichtung muß entweder vorher oder im Lichtbogen vollständig entfernt werden.
2. Die Schweißenergie muß so gering sein, daß eine Beschädigung der Rückseite vermieden wird.
3. Das Werkstück muß so sicher gespannt werden können, daß auch geringste Werkstückbewegungen während des Schweißvorgangs vermieden werden.
4. Falls gefordert, muß eine Spritzer- und Rußbildung in der Nähe der Schweißstelle vermieden werden.

Zur Lösung dieser Aufgaben stehen dem Bolzenschweißer verschiedene Verfahren zur Verfügung:

Kondensatorentladungsschweißen mit Spitzenzündung (Spalt- oder Kontaktverfahren)

### Spaltverfahren

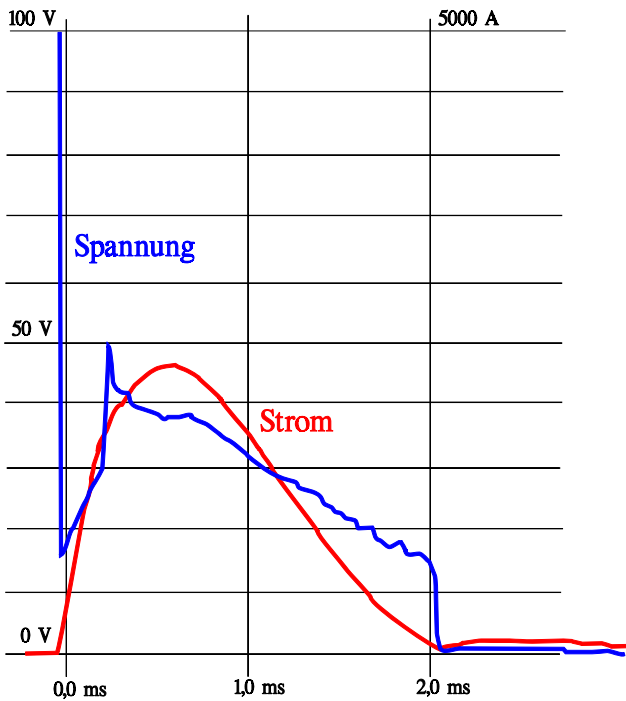
Als Energiequelle dient ein Kondensator von etwa 50 bis 150 mF und Ladespannungen zwischen 40 und etwa 200 V. Der Bolzen mit der charakteristischen Zündspitze wird zur Zündung aus einem gewissen Abstand auf das Werkstück hin beschleunigt. Beim Berühren der Zündspitze schließt sich der Stromkreis; die gespeicherte Energie führt zum schlagartigen Schmelzen und teilweisen Verdampfen der Zündspitze. Dadurch entsteht ein Lichtbogen, der während der Bewegungszeit des Bolzens über die Zündspitzenlänge brennt. Die Schweißzeit hängt von der Auftreffgeschwindigkeit des Bolzens, der Zündspitzenlänge, dem Oberflächenzustand, der Kapazität und der Ladespannung ab. (Bild 1).



**Bild 1: Nomogramm zur Abschätzung der Schweißzeit beim Bolzenschweißen mit Spitzenzündung**

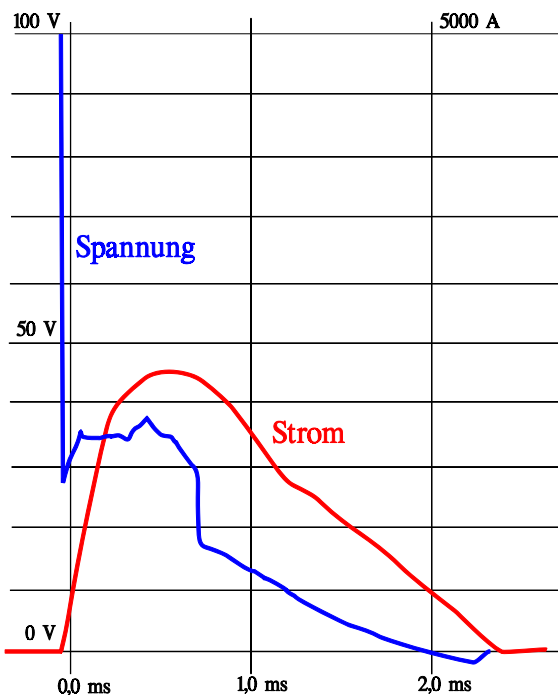
## Kontaktverfahren

Bei beschichteten Blechen ist auf jeden Fall eine rel. lange Schweißzeit erwünscht. Man erreicht dies i.a. durch Verringern der Auftreffgeschwindigkeit im sog. Kontaktverfahren. Dabei ist der Zündspalt (Abstand der Zündspitze bei Beginn der Bewegung in Richtung auf das Werkstück) gleich Null. Die Verlängerung der Schweißzeit erreicht gegenüber dem Spaltverfahren 50 bis 100%. Beim Spitzenzündungsschweißen ist es besonders wichtig, die elektrische Entladung des Kondensators und die Bewegung des Pistolenkolbens zu koordinieren. Ist der Lichtbogen bereits erloschen, d.h. die Entladung fast abgeschlossen, wenn der Bolzen in die Schmelze eintaucht, kommt es zu Bindefehlern. Dies tritt besonders bei zu geringer Auftreffgeschwindigkeit ein, verursacht z.B. durch zu hohe Kolbenlagerreibung (Bild 2).



**Bild 2: Prozeßverlauf beim Bolzenschweißen mit Spitzenzündung und zu geringer Auftreffgeschwindigkeit**

Taucht der Bolzen zu früh ein (z.B. bei zu kurzer Zündspitze, siehe Bild 3) oder ist der Stromanstieg zu gering, hat sich der Lichtbogen noch nicht über die gesamte Bolzenstirnfläche ausgebreitet. Ein direktes Stellen von Schweiß-



**Bild 3: Prozeßverlauf beim Bolzenschweißen mit Spitzenzündung und zu kurzer Zündspitze**

zeit und Schweißstrom ist beim Spitzenzündungsschweißen nicht möglich.

Eine gewisse Sonderstellung nimmt das Schweißen von sog. Tellerstiften auf sendzimirverzinkte Bleche zur Befestigung von Isoliermatten ein. Dabei wird ein Stift mit einer Nagelspitze im Kontaktverfahren durch die Matte aufgeschweißt. Da es sich hierbei um Schweißungen mit nur geringen Qualitätsanforderungen handelt, sind die Schwankungen in der Schweißzeit, die von unterschiedlicher Andruckkraft verursacht werden, nicht tragisch (Bild 4).



**Bild 4: Tellerstifte auf sendzimirverzinktem Blech**

Eine Benetzung der Oberfläche vor dem Schweißen verhindert einen größeren Spritzerkranz und Rußflecken. In der Praxis wird dazu entspanntes Wasser, in einigen Fällen auch leicht flüchtiges Öl eingesetzt.

### **Kondensatorentladungsschweißen mit Hubzündung**

Eine weitere Verlängerung der Schweißzeit kann durch kontrollierte Entladung des Kondensators erreicht werden. Dabei wird das bekannte Hubzündungsverfahren angewandt. Ein Pilotlichtbogen der aus dem Kurzschluß heraus gezündet wird, stellt die Ionisationsstrecke her. Dazu wird ein kleiner Kondensator über eine Spule entladen. Der Hauptlichtbogen wird dann zu beliebiger Zeit, z.B. auch in der Abwärtsbewegung des Bolzens, gezündet. Der Pilotlichtbogen kann gleichzeitig zu einer gewissen Reinigung der Oberfläche dienen. Das Verfahren ist heute nur noch bei kritischen (z.B. bei schlecht wärmeleitenden) Werkstoffen, bei denen ein tieferer Einbrand gewünscht wird, von Bedeutung. Allerdings ist i.a. die Streuung der Ergebnisse geringer als bei der Spitzenzündung, da der Einfluß der Zündspitze wegfällt. Bei dünnen Blechen ist aber der Wärmefluß in das Grundmaterial oft unerwünscht, da er zur Beschädigung der Rückseite führt. I.a. wird man bei Blechen unter 1 mm Dicke bei beschichteter Rückseite das Verfahren Spitzenzündung bevorzugen.

### **Kurzzeitbolzenschweißen mit Hubzündung**

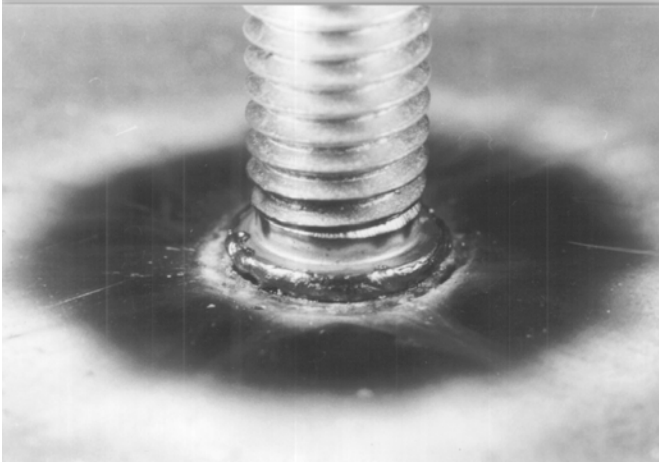
Dieses Verfahren hat sich in den vergangenen 20 Jahren durch die Fortschritte bei Leistungshalbleitern eine immer größere Bedeutung erworben. Aufgaben, die man mit der Kondensatorentladung nicht lösen konnte, lassen sich mit längerer Schweißzeit bewältigen. Obligatorisch ist bei diesem Verfahren die Entnahme der Energie aus dem Netz ohne Zwischenspeicher. Damit kann der Anwender Schweißstrom und Schweißzeit direkt vorwählen. Zu Beginn der Entwicklung waren Schweißzeiten von 50 bis 100 ms erreichbar bei Stromstärken von etwa 1000 A. Damit lassen sich Bolzen auf Bleche bis zum Verhältnis Bolzendurchmesser/Blechdicke von 8/1 verarbeiten. Bei kürzeren Schweißzeiten als etwa 50 ms zeigen sich aber sehr schnell grundsätzliche Nachteile der vom klassischen Hubzündungs-Bolzenschweißen abgeleiteten Technik.

- a) Thyristorgesteuerte Gleichrichter in 50 Hz-Technik erlauben keine beliebigen Schweißzeiten, sondern sind mit 20 ms/Halbwelle an die Netzfrequenz gekoppelt.
- b) Der Pistolenmechanik kommt bei kürzeren Schweißzeiten eine immer größere Bedeutung zu. Abweichungen von der Soll-Bewegungszeit wirken sich unmittelbar auf die Schweißzeit aus.

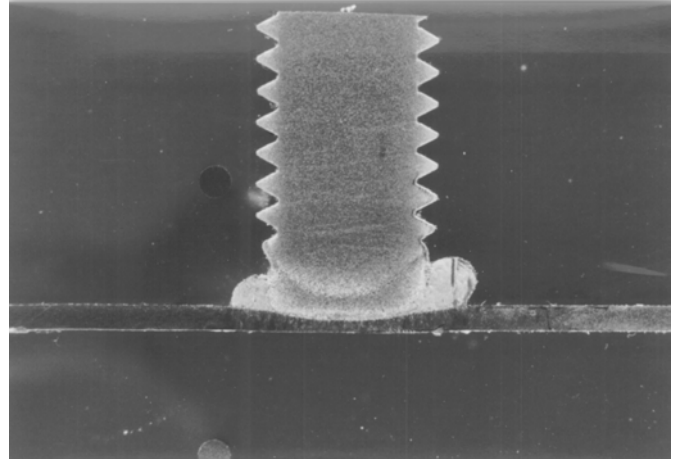
In den letzten Jahren sind Stromquellen in Invertertechnik auf den Markt gekommen, die aufgrund ihrer Charakteristik sehr kurze Schweißzeiten bei nahezu rechteckförmigem Anstieg und Abfall des Stromes erlauben. Die Schweißzeit kann frei von 1 ms an gewählt werden. Selbstverständlich muß, ähnlich wie bei allen Bolzenschweiß-

verfahren mit sehr kurzer Zeit, die Bewegung der Pistole exakt auf den Stromverlauf abgestimmt werden. Da immer ein "heißes Eintauchen" (im brennenden Lichtbogen) erfolgen muß, verlängert jede Verzögerung des Kolbens in der Abwärtsbewegung die Schweißzeit.

Bei hohen Anforderungen an Schweißqualität und Wulstaussehen hat sich der Zusatz von Schutzgas bewährt. Bei unbeschichteten Blechen tritt eine nur geringe Hofbildung ein. Bei verzinkten Blechen läßt sich diese zwar nicht vermeiden (Bild 5), der Porenanteil in der Schmelze ist aber wesentlich geringer (Bild 6).



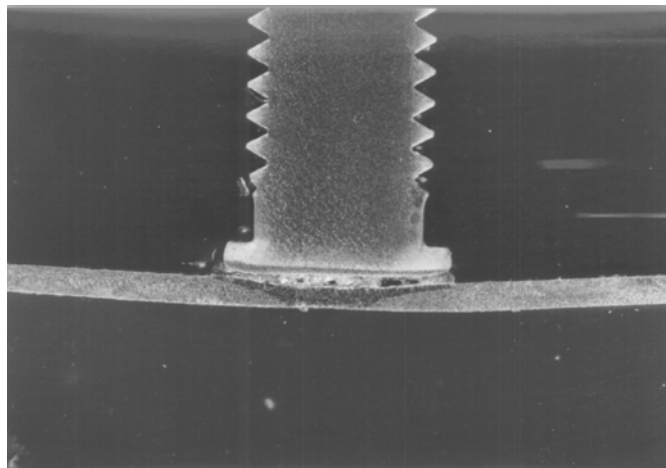
**Bild 5: Kurzzzeitbolzenschweißen auf verzinktem Blech unter Schutzgas**



**Bild 6: Schliffbild einer Kurzzzeitbolzenschweißung auf verzinktem Blech unter Schutzgas**

## Beschichtungen

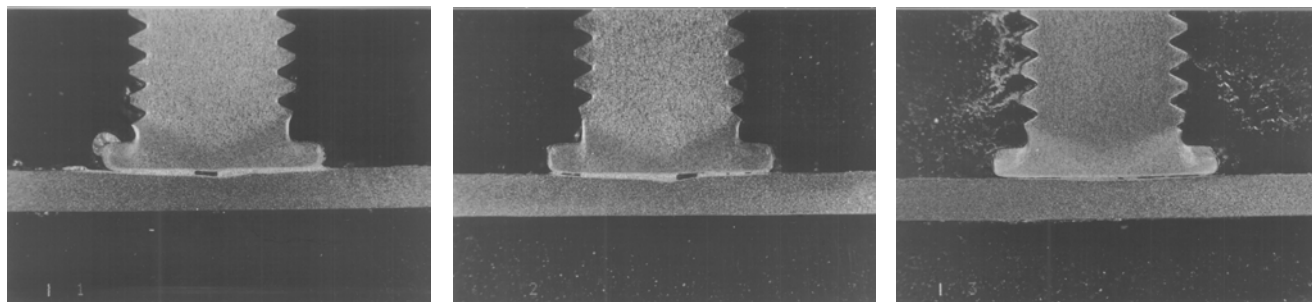
Der Großteil der beschichteten Bleche, die verarbeitet werden, sind verzinkt. Zink ist als Korrosionsschutz fast konkurrenzlos, allerdings liegt der Verdampfungspunkt mit 906°C weit unterhalb der Prozeßtemperatur, so daß erhebliche Mengen Zinkdampf entstehen. Ist die Schweißzeit zu kurz, erzeugt das verdampfende Zink Poren in der Schmelzzone (Bild 7).



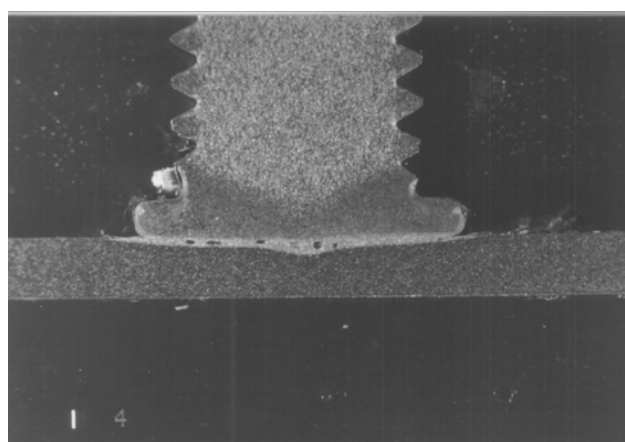
**Bild 7: Schliffbild einer Kurzzeitschweißung auf verzinktem Blech ohne Schweißbadschutz**

Bei galvanischer Verzinkung (um 5µm) kann prinzipiell jedes Schweißverfahren von der Spitzenzündung an verwendet werden. Vorzugsweise wird dabei aber das Kontaktverfahren angewandt. Im Gegensatz zu galvanischer Verzinkung mit rel. konstanter Schichtdicke sind Feuerverzinkungen schwieriger zu beherrschen. Bei dünnen Blechen handelt es sich fast immer um die sog. Sendzimirverzinkung mit Schichtdicken von 15 bis 25 µm. Möglich ist auch hier die Spitzenzündung bis M 6, man muß aber mit größeren Schwankungen im Ergebnis rechnen.

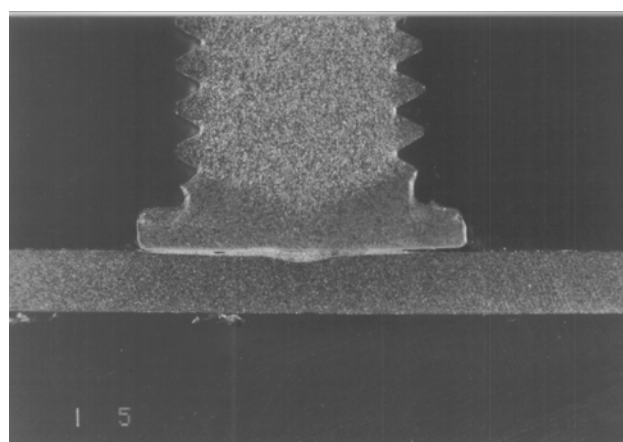
Schliffe von Bolzenschweißungen mit Spitzenzündung auf sendzimirverzinktem Blech zeigen die folgenden Bilder. Dabei ist der Einfluß der Schweißzeit, die sich aufgrund der Federkraft und der Größe des Spaltes ergibt, gut zu erkennen.



**Bilder 8, 9, 10: Spitzenzündung Kontaktverfahren: Federkraft gering, mittel, hoch**



**Bild 11: Spitzenzündung großer Spalt**



**Bild 12: Spitzenzündung kleiner Spalt**

Kann der Einbrand ohne Beschädigung der Rückseite tiefer sein und ist die Zinkschichtdicke zu hoch für das Spitzenzündungsverfahren, empfiehlt sich das Kurzzeitbolzenschweißen mit Gleichrichter. Dabei wird die Energie mit der Schweißzeit je nach Anforderung gewählt.

### **Beschichtungen mit anderen metallischen Überzügen**

Sie sind für Sonderfälle wichtig, z.B. Blei bei Gaszählergehäusen, Zinn bei HF-dichten Gehäusen für die Elektronik, Aluminium bei Teilen in der (Groß)-Küchentechnik. All diese Metalle lassen sich rel. gut verarbeiten, da die Verdampfungspunkte rel. hoch liegen. Das Spitzenzündungsschweißen hat sich auf all diesen Werkstoffen bewährt.

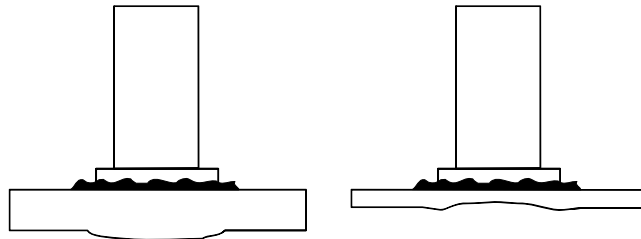
### **Ölbeschichtung**

Ölbeschichtete Feinbleche findet man oft in der Automobilzulieferindustrie. Öl dient als leichter Korrosionsschutz während Transport und Lagerung. Bei konstanten Bedingungen kann man die Schweißparameter auf ein Schweißen unter Öl einstellen, ansonsten bleibt nicht anderes übrig, als mit der Energie so hoch zu gehen, daß die höchste vorkommende Schichtdicke zuverlässig verbrannt wird. Wenn Rückseitenbeschädigungen bei dünnen Blechen nicht zulässig sind, hat sich das Spitzenzündungsschweißen mit Kontakt bewährt; bei mit Kondensatorentladung nicht beherrschbaren Schichtdicken das Kurzzeitbolzenschweißen. Allerdings treten dabei leichter Anlauffarben auf der Rückseite auf.



## Rückseitenmarkierungen

Auf nichtrostendem Stahl und Aluminium bis 2 mm Dicke lassen sich geometrische Markierungen selbst bei Spitzenzündung nicht vermeiden. Allerdings ist die Sichtbarkeit von der Struktur der Rückseite abhängig. Auf hochglanzpolierten Flächen bis zur o.g. Dicke ist immer eine Markierung zu sehen. Dabei tritt bei Blechen von 0,5 bis 0,6 mm Dicke in der Mitte des Bolzens ein "Einzug" aufgrund der Schrumpfung des Schweißbades auf. Darüber zeigt sich ein "Durchdruck" auf der Rückseite, abhängig von der Schweißzeit und der Federkraft (Bild 13).



**Bild 13: Rückseitenmarkierungen bei verschiedenen Blechdicken**

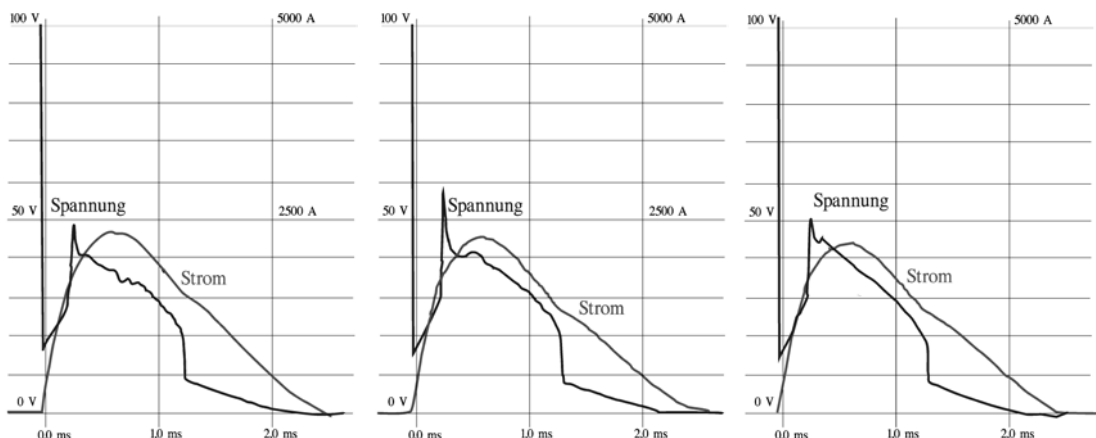
Thermische Markierungen (z.B. Anlauffarben, Beschädigungen der Zinkschicht) treten bei Spitzenzündung erst bei Blechdicken unter 0,5 mm ein; bei Verfahren mit längerer Schweißzeit (Hubzündung) muß ab 1 mm abwärts damit gerechnet werden. Eine thermische Markierung tritt immer erst nach einer geometrischen Markierung auf.

## Qualitätssicherung

Neben den bekannten Prüfverfahren wie Biegeprüfung, Zugprüfung, Makroschliffen und evtl. Durchstrahlung, die bei Bolzenschweißen allesamt zerstörend sind, haben sich in den letzten Jahren zunehmend Verfahren bewährt, die eine prozeßbegleitende Aussage über die gerade erzeugte Güte einer Bolzenschweißverbindung zulassen.

Beim Verfahren Hubzündung sind diese Geräte schon länger bekannt (siehe Bild 4). Sie zeichnen Strom, Zeit und evtl. Spannung auf, errechnen Energie und Leistung und vergleichen die Werte mit vorher gewählten Toleranzbändern. Wichtig ist jedoch ein Abgleich zwischen aufgezeichneten Werten und einer wirklich ermittelten Qualität, um eine Erfahrungsbasis zu sammeln.

Beim Verfahren mit Kondensatorentladung war es immer schwierig, dieses System anzuwenden, einerseits weil die Einflußwerte in ihrer Wichtigkeit und auch Anzahl nicht vollständig bekannt waren, andererseits, weil der Zusammenhang zwischen Meßwerten und Versuchsergebnissen nicht ausreichend abgesichert war. Seit einigen Jahren ist ein System auf dem Markt, daß sich in der Massenfertigung beim Verfahren Spitzenzündung bewährt hat. Dazu wird die Entladekurve des Kondensators (Strom und Spannung) aufgezeichnet. Bei korrektem Ablauf müssen ganz bestimmte Werte erreicht werden. So können z.B. anhand der charakteristischen Werte das Material des Bolzens oder eine Oberflächenbeschichtung (oder Verunreinigung) erkannt werden. Bei genügend großer Zahl von Meßwerten und gleichzeitig durchgeführten mechanischen Prüfungen wird die Erfahrungsbasis immer größer und die Aussagefähigkeit der prozeßbegleitenden Meßwerte immer besser [1]. Die Bilder 14 bis 16 zeigen einige typische Prozeßverläufe bei bestimmten Bedingungen. Besonders am Spannungsverlauf erkennt man typische Veränderungen, die zur Beurteilung der Schweißqualität herangezogen werden.



Bilder 14 bis 16: Bolzenschweißen mit Spitzenzündung: Normaler Verlauf, unter Öl, unter Wasser

Die Tabelle zeigt in einer Übersicht die geeigneten Verfahren bei verschiedenen Anforderungen, außerdem typische Einstellwerte.

<b>Auswahltabelle für häufige Anwendungsfälle</b>					
	Spitzenzündung Spaltverfahren	Spitzenzündung Kontaktverfahren	Hubzündung mit Kondensatorentladung	Kurzzeit mit Gleichrichter	Kurzzeit mit Gleichrichter und Schutzgas
Blechdicke 0,5 bis 0,8 mm, nur galv. Beschichtung, mögl. Geringe geometr. Rückseitenmarkierung	Gut geeignet	Bedingt geeignet	Nicht geeignet	Nicht geeignet	Nicht geeignet
Blechdicke 0,8 bis 1,2 mm, galv. Verzinkung, mögl. Geringe geometr. Rückseitenmarkierung	Bedingt geeignet	Gut geeignet	Bedingt geeignet	Nicht geeignet	Nicht geeignet
Blechdicke 1,2 bis 2 mm, galv. Verzinkung, keine thermische Rückseitenmarkierung	Bedingt geeignet	Gut geeignet	Gut geeignet	Bedingt geeignet (bei geringem Bolzendurchmesser)	Bedingt geeignet (bei geringem Bolzendurchmesser)
Blechdicke 0,6 bis 1 mm, Sendzimir-Verzinkung, keine thermische Rückseitenmarkierung	Nicht geeignet (geeignet bei eingeschränkter Schichtdicke)	Gut geeignet für Isolierungen (Tellerstifte u.ä.)	Bedingt geeignet	Bedingt geeignet (bei kleinem Bolzendurchmesser)	Bedingt geeignet (bei kleinem Bolzendurchmesser)
Blechdicke über 1,2 mm, Sendzimirverzinkung, Rückseitenmarkierung erlaubt	Nicht geeignet (geeignet bei eingeschränkter Schichtdicke)	Bedingt geeignet (bis 6 mm Ø) Geeignet bei eingeschränkter Schichtdicke	Geeignet (bis 6 mm Ø)	Gut geeignet (bei geringen Anforderungen an Qualität und Wulstaussehen)	Gut geeignet (bei hohen Anforderungen an Qualität und Wulstaussehen)
Geringe Verschmutzung (Hofbildung)	Mit Benetzung schweißen			Nicht geeignet	Bedingt geeignet
<b>Typische Verfahrensparameter</b>					
Schweißstrom (A)	Bis 5000	Bis 3000	Bis 3000	Bis 1500	Bis 1500
Schweißzeit (ms)	0,8 bis 1,5	Bis 3	Bis 8	5 bis 100 (30)	5 bis 100 (30)
Hub bzw. Spalt (mm)	4	0	1,5	1,5	1,5

## Zusammenfassung

Auf dünnen beschichteten Blechen sind Bolzenschweißungen mit verschiedenen Verfahrensvarianten möglich. Bei dicker Beschichtung und dickem Blech wird man vorzugsweise das Kurzzeitschweißen mit Gleichrichter, bei dünner Beschichtung und dünnem Blech das Spitzenzündungsverfahren mit Kontakt verwenden. Die Grenzen für das Bolzenschweißen liegen dort, wo rel. dicke Bolzen (z.B. M 6) auf dünne Bleche (z.B. 0,8 mm) mit hoher Schichtdicke (z.B. über 25 µm) ohne Beschädigung der Rückseite geschweißt werden müssen. In der Serien- oder Massenfertigung stehen hochwertige Prozeßkontrollgeräte zur Verfügung, die eine genaue Aussage bei Abweichungen von den Sollwerten zulassen.

## Literaturhinweise:

DVS-Merkblatt 0902 "Lichtbogenbolzenschweißen mit Hubzündung" Dez. 2000

DVS-Merkblatt 0903 "Lichtbogenbolzenschweißen mit Spitzenzündung" Dez. 2000

DVS-Merkblatt 0904 "Hinweise für die Praxis - Lichtbogenbolzenschweißen" Dez. 2000

[1] Firmeninformation Haag - Elektronische Meßgeräte, Waldbrunn

R. Trillmich, W. Welz: "Bolzenschweißens – Grundlagen und Anwendung" DVS-Verlag, Düsseldorf 1997 (Fachbauch 133)

## Bildnachweis:

Bild 1: DVS-Verlag, Düsseldorf

Bilder 2, 3, 14 bis 16: OBO Bettermann, Menden

Bild 4: HBS, Dachau

Bild 13: Köster & Co., Ennepetal

Bilder 5 bis 12: SLV München