

DER PRAKTIKER

DVS

1-2

Fachmagazin für Schweißtechnik und mehr

2025



BOLZENSCHWEIßEN

www.bolte.gmbh

SERIE PRO-I / GD



- » LEISTUNGSSTARKE BOLZENSCHWEIßGERÄTE UND -PISTOLEN FÜR DAS BOLZENSCHWEIßEN MIT HUBZÜNDUNG
- » EXZELLENTES SCHWEIßQUALITÄT
- » INTEGRIERTE SCHWEIßPARAMETERÜBERWACHUNG UND -SPEICHERUNG



SCHWERPUNKT-
THEMA:
BIG DATA

CAD-GESTÜTZTER
VORRICHTUNGS-
BAU

KÜNSTLICHE
INTELLIGENZ BEIM
SCHWEISSEN

ERFAHRUNGEN
BEIM KOPFBOLZEN-
SCHWEISSEN

ERFAHRUNGEN BEIM KOPFBOLZENSCHWEISSEN VON STAHLINBAUTEILEN

Die Blaswirkung im Griff

Rainer Trillmich

Lichtbogen-Bolzenschweißen ist ein seit langem etablierter Schweißprozess und wird in vielen Bereichen angewendet. Hervorzuheben sind die vollflächige Verschweißung des Querschnittes und die kurze Schweißzeit bei hoher Stromstärke. Dies und der Verzicht auf Schweißzusatzwerkstoff kommt den aktuellen Forderungen nach Energieeinsparung und Nachhaltigkeit entgegen. Allerdings ist mit dem hohen Schweißstrom auch ein starkes Magnetfeld verbunden, das besonders bei großen Bolzendurchmessern eine Ablenkung des Lichtbogens (Blaswirkung) bewirkt. Damit geht eine schiefe Anschmelzung des Bolzens einher, die wiederum zu Störungen im Prozessverlauf und zu mit den einschlägigen Regelwerken nicht konformen Ergebnissen führen kann.



Bild 1: Ankerbolzen, hergestellt aus Einzelteilen und manuell aufgeschweißt (© Trillmich)



Bild 2: Beispiel einer ETA für Stahlleinbauteile mit Kopfbolzen (© Bolte GmbH)

Die Einsatzgebiete für Stahlleinbauteile mit aufgeschweißten Kopfbolzen sind vielfältig, nämlich überall, wo zwischen Stahlbau und Massivbau Verbindungen gebraucht werden. Kopfbolzen bewähren sich seit Jahrzehnten und haben fast überall die früher verwendeten Pratzen oder Betonstahlhaken abgelöst. Vorteilhaft ist nicht nur das schnelle Aufschweißen, sondern auch die Möglichkeit, einen statischen Nachweis zu führen. Grundlage sind europäische technische Regeln wie EN 1992-4 und die ETA (European Technical Assessment, Europäische Technische Bewertung) der Hersteller, z. B. ETA-11/0120. Danach können solche Einbauteile mit Kopfbolzen („Ankerplatten“) Kräfte und Momente in beliebiger Richtung und auch kombiniert aufnehmen.

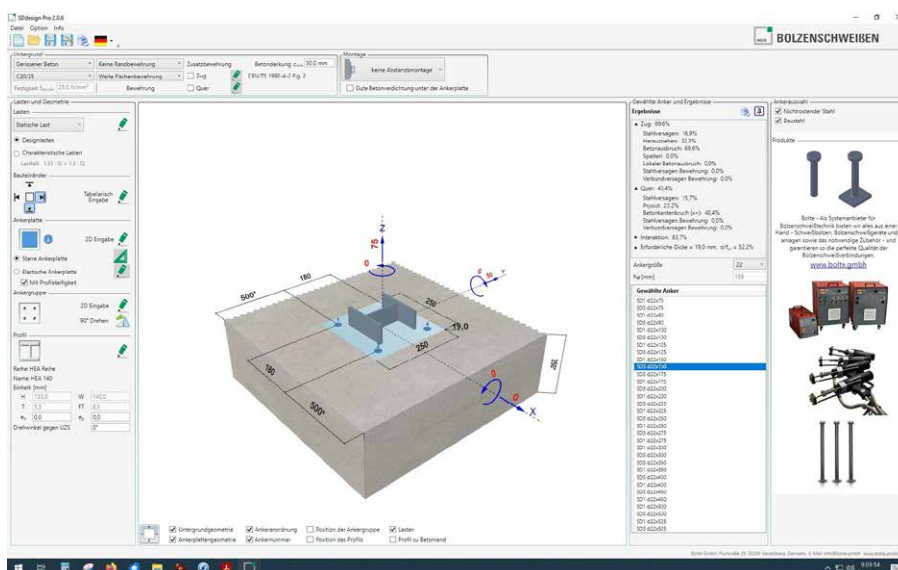


Bild 3: Bemessungsprogramm für Stahlleinbauteile (© Bolte GmbH)

Früher hatten sich in manchen Ländern selbstgemachte Ankerbolzen etabliert (**Bild 1**), die aber weder über eine ETA verfügen noch in wirtschaftlicher Hinsicht zu rechtfertigen sind. Gemäß den einschlägigen ETA (**Bild 2**) sind Kopfbolzen nach DIN EN ISO 13918 zu verwenden, die durch Bolzenschweißen mit Hubzündung aufgeschweißt werden müssen. Kopfbolzen mit Kehlnähten aufzuschweißen, ist daher nicht regelkonform. Zur Bemessung von Stahlleinbauteilen stellen die Hersteller oft Programme zur Verfügung (**Bild 3**).

Eine Besonderheit beim Bolzenschweißen – Blaswirkung

Bolzenschweißen ist ein automatischer Schweißprozess, deshalb sollte man meinen, mit der Wahl der richtigen Parameter ist ein

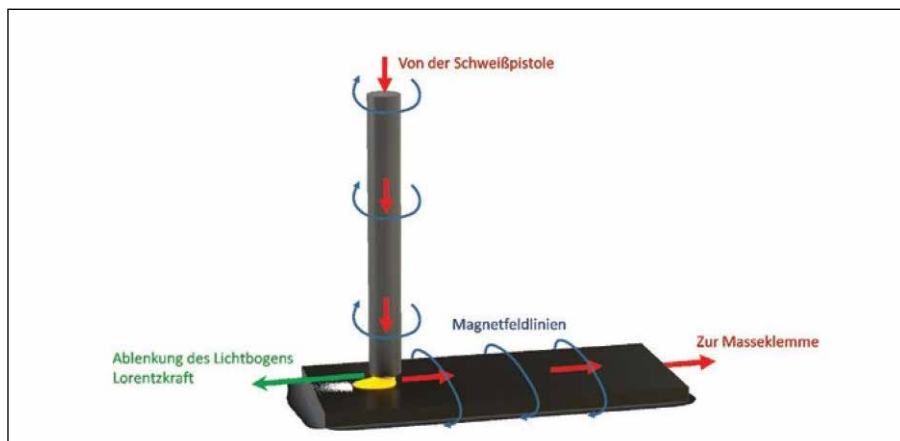


Bild 4: Lichtbogenposition (gelbe Fläche) bei 2000 A Schweißstrom und einseitiger Masseanklemmung (© Marcus Trautmann)



Bild 5: Schiefe Anschmelzung mit Eintauchbehinderung (© Trillmich)



Bild 6: Spritzer aufgrund von Blaswirkung verhindern das Eintauchen. (© Trillmich)

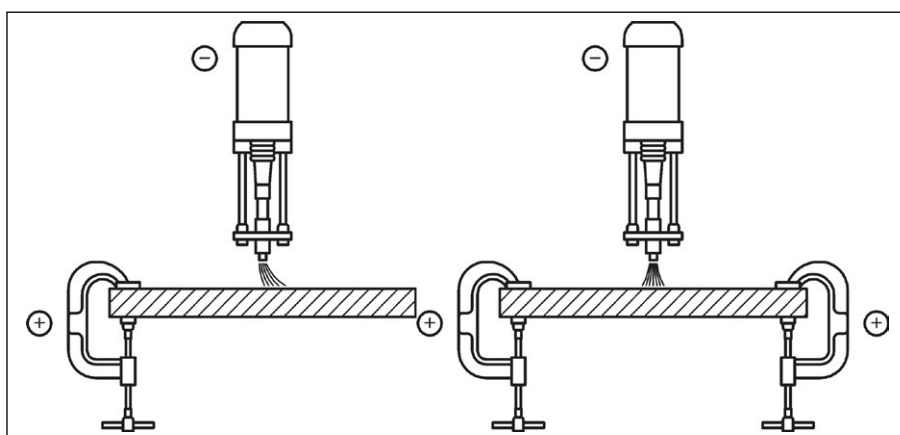


Bild 7: Lichtbogenablenkung bei einseitiger Masseanklemmung und Abhilfe (© [2])

einwandfreies Ergebnis garantiert. Weil dem aber nicht so ist, sind in der DIN EN ISO 14555, Kapitel 6 [1], auch Anforderungen an das Bedienpersonal festgelegt. In diesem Abschnitt der Norm wird, etwas versteckt, auf eine Besonderheit des Bolzenschweißens verglichen

mit den üblicherweise eingesetzten Schweißprozessen hingewiesen. Das Bedienpersonal soll auf „geeignete Anbringung der Massekabel und auf gleichmäßige Verteilung ferromagnetischer Massen“ achten. Was steckt dahinter?

Jedem mit der Schweißtechnik Vertrauten ist der Begriff „Blaswirkung“ bekannt. Es ist die magnetische Ablenkung des Lichtbogens aus der geplanten Richtung. Recht anschaulich zeigt dies **Bild 4** mit den Verhältnissen bei einer Schweißung eines Bolzens mit 2000 A bei einseitiger Masseanklemmung. Senkrecht auf der Stromrichtung entsteht ein Magnetfeld, und dieses wiederum führt zu einer senkrecht zu diesem gerichteten Kraft. Eine Ablenkung des Lichtbogens, abhängig von der Stromhöhe, ist die Folge. Daraus ergeben sich nicht nur eine schiefe Anschmelzung des Bolzens, ein nicht geschlossener Schweißwulst und oft eine Schiefstellung des Bolzens aufgrund der Winkelschrumpfung. Bereits während des Schweißprozesses läuft das Schmelzbad wie auf einer schiefen Ebene nach einer Seite ab (**Bild 5**). Tropfenkurzschlüsse und damit starke Spritzer sind die Folge. Setzt sich ein solcher Spritzer zwischen Keramikring und Bolzen fest, wird die Bolzenbewegung beim Eintauchen behindert (**Bild 6**).

Ratschläge für die Praxis

In der Fachliteratur, z. B. [1], findet man Hinweise zu Abhilfemaßnahmen, wie Schweißen gleich weit von beiden Masseklemmen entfernt (**Bild 7**) oder auch die Verwendung von Ausgleichsmassen. Allerdings sind diese Hinweise prinzipieller Natur, die reale Situation ist sehr oft anders. In den meisten Fällen lassen sich mit einiger Erfahrung auch gleichmäßig gute Ergebnisse erreichen, wie die Beispiele in den **Bildern 8 und 9** zeigen.

Folgende drei Komponenten sind gegeneinander auszugleichen:

1. Die Masseklemme lenkt den Lichtbogen von sich weg,
2. der Werkstückrand lenkt den Lichtbogen in Richtung Plattenmitte,
3. ein außen liegendes Schweißkabel an der Pistole lenkt den Lichtbogen vom Bediener weg.

Erfahrungsgemäß steigt die Blaswirkung mit abnehmender Blechdicke, abnehmendem Randabstand und abnehmender Werkstückgröße. Dabei sind die Kopfbolzen in den Plattenecken schwieriger mit hoher Qualität zu schweißen als die an den Seiten.



Bild 8: Einwandfreies Ergebnis bei kleiner Ankerplatte (© Trillmich)



Bild 9: Einwandfreies Ergebnis auch in der Plattenecke (© Trillmich)

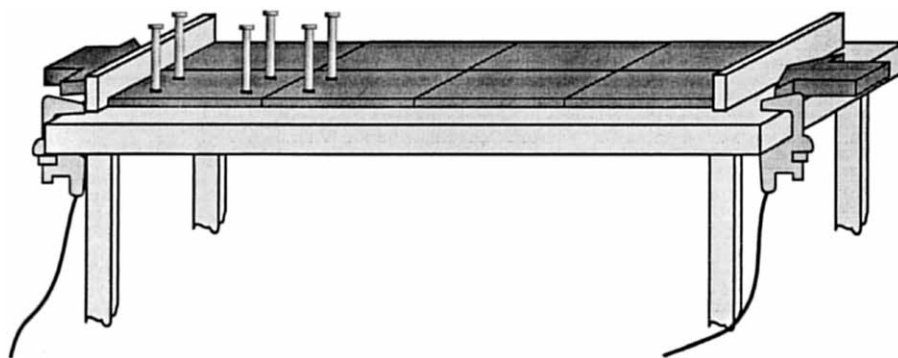


Bild 10: Vorschlag aus der Fachliteratur zum Ausgleich der Blaswirkung (© [3])

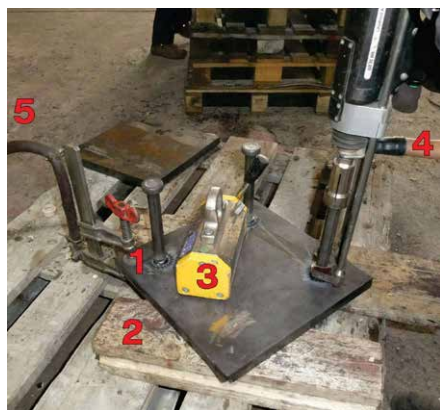


Bild 11: Empfehlung zum erfolgreichen Schweißen von Kopfbolzen auf Ankerplatten (© Trillmich)



Bild 12: Nichtrostende Ankerplatten für den Nuklearbereich (© Trillmich)

Oft findet man für die Serienherstellung von Stahleinbauteilen die in **Bild 10** gezeigte Empfehlung. Dabei sollen die Bleche auf einem Schweißstisch so dicht aneinandergelegt werden, dass sich die Einzelbleche wie ein großes Blech verhalten, weil sich das Magnetfeld beim Schweißen in die benachbarten Einzelbleche ausbreiten kann. Man schweißt zuerst die vom Rand weiter

entfernten Bolzen und ordnet die Platten immer wieder neu an, vermeidet so Schweißen am Rand. In der Praxis liegen die Bleche aber oft nicht eben auf dem Schweißstisch, dessen Einfluss aber vom magnetischen Kontakt mit der gerade bearbeiteten Platte abhängt. Auch die Kanten sind nicht immer so glatt, dass guter Kontakt zu den Nachbarplatten sichergestellt ist.

Deutlich gleichmäßigere Ergebnisse stellen sich beim Arbeiten gemäß **Bild 11** ein. Die Zahlen bedeuten:

1. nur eine Masseklemme diagonal gegenüber der Schweißstelle;
2. das Werkstück von ferromagnetischen Massen (Schweißstisch!) entkoppeln;
3. je nach Werkstückdicke eine Ausgleichsmasse zwischen Masseklemme und Schweißstelle – ganz wichtig: Die Ausgleichsmasse muss an das Werkstück gut magnetisch ankoppeln können, also eine glatte Unterseite haben; ein kleiner Lasthebemagnet ist gut geeignet;
4. das außenliegende Pistolenkabel auf die Masseklemme richten;
5. Schweißkabel aus der Werkstückumgebung entfernen.

Unterschiede ferritischer und austenitischer Werkstoffe

Bei ferritischem (magnetisierbarem) Stahl wirkt das Werkstück selbst mit als Ausgleichsmasse, das heißt, es „fängt“ die Feldlinien des Magnetfeldes ein, sodass diese den Lichtbogen weniger ablenken können. Je dicker die Platte ist, umso geringer ist die Blaswirkung. Was aber, wenn austenitische Ankerplatten herzustellen sind? Bei unmagnetischen Werkstücken ist die Blaswirkung deutlich stärker, das Werkstück stellt für das Magnetfeld den gleichen Widerstand dar wie Luft, sodass das Magnetfeld sich deutlich stärker am Lichtbogen bemerkbar macht. Solche Ankerplatten werden vielfach im Nuklearbereich in großen Mengen eingesetzt. Gerade dabei gibt es aber hohe Anforderungen an die Ausführungsqualität, das gilt für alle Bolzen auf der Platte. Reparaturen sind gar nicht oder nur eingeschränkt zulässig. Wie kann man dabei die Reproduzierbarkeit des Schweißprozesses sichern?

Bei austenitischen Werkstoffen wird bei Bolzen über 16 mm Durchmesser empfohlen, zusätzlich unter Schutzgas zu schweißen. Dabei werden Spritzerbildung und Eintauchbehinderungen deutlich reduziert. Bei einer längeren Versuchsreihe für einen großen im Nuklearbereich tätigen Konzern wurden Kopfbolzen mit 16, 19 und 22 mm Durchmesser auf Platten von 10, 20 und 30 mm Dicke mit unterschiedlichen Randabständen bis minimal 20 mm geschweißt (**Bild 12**). Die Maßnahmen

zum Ausgleich der Blaswirkung sind prinzipiell die gleichen wie bei ferritischen Werkstücken. In der Auswirkung der einzelnen Komponenten zeigten sich aber deutliche Unterschiede.

Bei Kopfbolzen mit 22 mm Durchmesser müsste die Ausgleichsmasse so groß sein, dass ein reproduzierbares und wirtschaftliches Arbeiten kaum möglich ist (**Bild 13**). Daher wurde hier der traditionelle Weg mit zwei Masseklemmen und Schweißen dazwischen gewählt (**Bild 14**). Bei ferritischen Werkstücken ist das Schweißen unmittelbar neben einer Masseklemme, auch bei einer zweiten, die weiter entfernt ist, nie erfolgreich, weil der Schweißstrom natürlich den kürzesten Weg zur Klemme nimmt. Es gab zwar kaum Platz zum Anbringen der Masseklemme, dennoch war das Schweißergebnis einwandfrei (**Bild 15**), wie der Makroschliff in **Bild 16** zeigt.

Insgesamt lag bei etwa 200 unter den beschriebenen Bedingungen geschweißten Kopfbolzen die Quote nicht konformer Schweißergebnisse deutlich unter 5 %. Grundlage der Bewertung war die Sichtprüfung nach DIN EN ISO 14555, die durch einzelne Zugprüfungen und Makroschliffe abgesichert wurde.

Komplette Überwachung vorteilhaft

In der Serienfertigung mit modernen Bolzenschweißgeräten ist die komplette Überwachung des Schweißvorgangs von großem Vorteil. Damit stehen alle relevanten Daten wie Schweißstrom, Schweißzeit, Lichtbogenlänge, aber auch Hub, Eintauchmaß und Eintauchgeschwindigkeit zur Dokumentation und auch zur Auswertung zur Verfügung. Zerstörende Prüfungen können so reduziert werden. Die Werte von Schweißstrom,



Bild 13: Erfolgreicher Kompensationsversuch bei nichtrostenden Platten (© Trillmich)



Bild 14: Erfolgreiche Kompensation nur mit zwei Masseklemmen (© Trillmich)



Bild 15: Einwandfreies Ergebnis sehr nahe an der Plattenecke (© Trillmich)

Schweißzeit, Hub (Lichtbogenlänge) und Überstand (Eintauchmaß) müssen nachweisbar innerhalb bestimmter Grenzwerte liegen, nur dann kann die Sichtprüfung des geschweißten Bolzens Sicherheit vermitteln. Die Beurteilung der Prozessgrößen einer Schweißung muss aber immer ganzheitlich

erfolgen. In gewissen Grenzen kann ein geringerer Wert bei einem Parameter, z. B. beim Strom, durch entsprechend längere Schweißzeit kompensiert werden.

Ganz wichtig ist die Erfassung der Bolzenbewegung durch ein Wegmesssystem – ein

DER SYSTEMANBIETER FÜR BOLZENSCHWEIßEN.

BOLTE

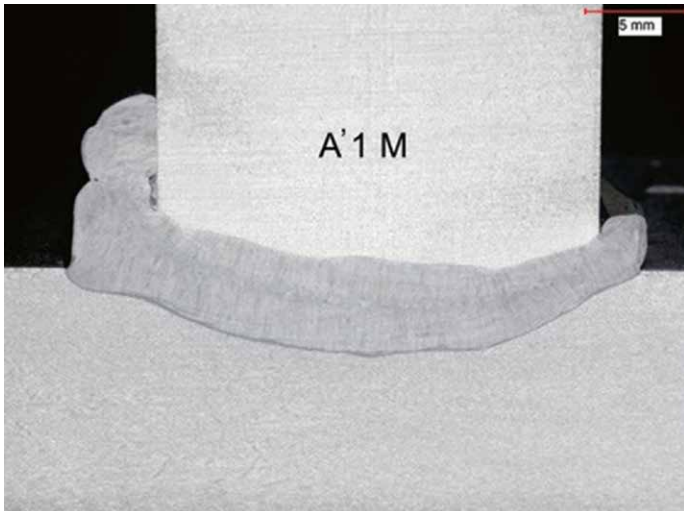


Bild 16: Makroschliff einer einwandfreien Bolzenschweißung (© Trillmich)



Bild 17: Versagen bei der Biegeprüfung trotz bestandener Sichtprüfung (© Trillmich)

entscheidender Faktor bei der Schweißung. Erfolgt die Bewegung nicht genau koordiniert mit dem „Stromprogramm“, kann das sogenannte „kalte Eintauchen“ eintreten. Wenn der Bolzen nicht während der Lichtbogenphase mit dem Werkstück vereinigt wird, sondern danach, und seien es auch nur Millisekunden, bildet sich auf der dann vom Metaldampf nicht mehr geschützten Schmelze sofort eine Oxidhaut. Mehr oder weniger große Bindefehler sind die Folge. Da sie immer zunächst am Rand entstehen,

wirken sie wie eine Sollbruchstelle und führen auch bei geringem Flächenanteil zur drastischen Verringerung der Tragfähigkeit. Solche Defekte lassen sich visuell nicht erkennen! Die alleinige Erfassung von Strom und Zeit bei herkömmlichen Bolzenschweißgeräten gaukelt eine trügerische Sicherheit vor.

Das kalte Eintauchen kann verursacht werden von einer zu starken Dämpfungseinstellung, von Reibung zwischen Bolzen und

Keramikring, von Spritzern, die sich zwischen Bolzen und Keramikring während des Schweißprozesses festsetzen, oder von einer schlecht funktionierenden Pistole. Manche Ursachen lassen sich in der vereinfachten Arbeitsprüfung vor Schichtbeginn [1] erkennen, andere nicht, weil sie nur sporadisch auftreten. Der Nachweis, dass sich beide Schmelzbäder in der Lichtbogenbrennphase vereinigt haben, gelingt durch die Messung der Kurzschlusszeit.

Tabelle 1: Aufzeichnung und Überwachung der Schweißparameter

Nr.	Datum	Uhrzeit	Pistole Nr.	Schweißzeit (ms)	Schweißstrom (A)	Lichtbogenspannung (V)	Eintauchgeschwindigkeit (mm/s)	Hub (mm)	Eintauchmaß (mm)	Überstand (mm)	Kurzschlusszeit (ms)
133	10.10.23	15:10:13	1	1248/0 0/-0	1890/0 0,0/0,0	31,4/0,0 0,0/0,0	60/0 0/-0	4,4 : 0,0 0,0 : -0,0	4,2 : 0,0 0,0 : -0,0	4,3 : 0,0 0,0 : -0,0	27/0 0,0/0,0
134	10.10.23	15:28:58	1	1249/0 0/-0	1890/0 0,0/0,0	29,7/0,0 0,0/0,0	52/0 0/-0	4,4 : 0,0 0,0 : -0,0	4,3 : 0,0 0,0 : -0,0	4,3 : 0,0 0,0 : -0,0	48/0 0,0/0,0
135	10.10.23	15:31:26	1	1249/0 0/-0	1890/0 0,0/0,0	30,3/0,0 0,0/0,0	60/0 0/-0	4,4 : 0,0 0,0 : -0,0	4,3 : 0,0 0,0 : -0,0	4,4 : 0,0 0,0 : -0,0	25/0 0,0/0,0
136	10.10.23	15:32:21	1	1249/0 0/-0	1890/0 0,0/0,0	30,8/0,0 0,0/0,0	62/0 0/-0	4,5 : 0,0 0,0 : -0,0	3,9 : 0,0 0,0 : -0,0	4,0 : 0,0 0,0 : -0,0	28/0 0,0/0,0
137	10.10.23	15:33:12	1	1249/0 0/-0	1889/0 0,0/0,0	30,4/0,0 0,0/0,0	61/0 0/-0	4,5 : 0,0 0,0 : -0,0	4,1 : 0,0 0,0 : -0,0	4,2 : 0,0 0,0 : -0,0	28/0 0,0/0,0
138	10.10.23	15:34:48	1	1248/0 0/-0	1890/0 0,0/0,0	30,9/0,0 0,0/0,0	61/0 0/-0	4,4 : 0,0 0,0 : -0,0	4,7 : 0,0 0,0 : -0,0	4,7 : 0,0 0,0 : -0,0	19/0 0,0/0,0
Kalt eingetaucht				903/0 0/-0	1551/0 0,0/0,0	34,0/0,0 0,0/0,0	50/0 0/-0	3,6 : 0,0 0,0 : -0,0	2,2 : 0,0 0,0 : -0,0	4,9 : 0,0 0,0 : -0,0	0/0 0,0/0,0

Tabelle 2: Auszug aus der Wertetabelle einer Schweißung mit zu geringem Eintauchmaß

Gun	tw	lw	U	vpm	L	pd	P	tK
1	1139/1139 4/-4	2023/1999 3,0/-3,0	37,3/36,3 5,0/-5,0	90/103 30/-30	5,2 : 5,0 0,5 : -0,5	4,6 : 5,2 1,0 : -0,5	6,1 : 5,3 1,5 : -1,5	35/32 30,0/-30,0

Wie erwähnt, ist das Bolzenschweißen ein automatischer Schweißprozess, dadurch gekennzeichnet, dass der Bediener während des Vorganges weder eingreifen, geschweige denn Unregelmäßigkeiten ausgleichen kann. Abweichungen von den eingestellten Werten lassen sich daher nur messtechnisch erfassen.

Tabelle 1 zeigt ein Beispiel einer vollständigen Erfassung aller relevanten Parameter. In der unteren Zeile ist eine Schweißung mit „kaltem Eintauchen“ dargestellt, erkennbar an der Kurzschlusszeit von 0 ms.

Ein wegen Blaswirkung stark ungleichmäßig angeschmolzener Bolzen unterschreitet das normale Eintauchmaß, was das Wegmesssystem registriert und bei entsprechender Einstellung das weitere Schweißen verhindert (**Tabelle 2**). Meistens würde nämlich der Bediener den unvollständigen Schweißwulst bei Serienschweißungen gar nicht sofort bemerken, weil er die Keramikringe erst später entfernt. Die Prozessüberwachung verhindert also längere Serien fehlerhafter Schweißungen. Selbst wenn kein Messwertespeicher angeschlossen ist, kann man die erreichten Werte

jeder Schweißung direkt an der Stromquelle ablesen und das weitere Schweißen bei Unregelmäßigkeiten verhindern.

Nachweisbare Sicherheit für hochqualitative Schweißungen

Die Herstellung von Ankerplatten mit aufgeschweißten Kopfbolzen erfordert besondere Maßnahmen, sollen reproduzierbar einwandfreie Ergebnisse erreicht werden. Bolzenschweißen ist ein automatischer Schweißprozess, der zwar programmgesteuert abläuft, bei dem Schweißaufsicht und Bediener aber vor der Schweißung die notwendigen Voraussetzungen für einwandfreie Ergebnisse schaffen müssen. Die der Schweißaufgabe angepasste Anbringung der Masseklemmen, von Ausgleichsmassen und die richtige Ausrichtung der Schweißpistole sind dafür Voraussetzungen.

Moderne Inverter-Bolzenschweißgeräte mit Strom- und Bewegungsüberwachung bieten nicht nur exzellente Schweiß Eigenschaften, sondern können die erreichten Werte speichern und bewerten. Das sind z. B. die Stromquellen „Pro-I 2200“ mit den Pistolen der „GD“-Reihe. Zudem besteht die Möglichkeit,

die Geräte nach Ergebnissen außerhalb des Prozessfensters zu sperren und die Schweißung zu inspizieren. Zusammen mit der obligatorischen Sichtprüfung gewährleisten die Systeme damit nachweisbare Sicherheit und setzen neue Maßstäbe für Anforderungen an hochqualitative Bolzenschweißungen. ■



Dipl.-Ing. Rainer Trillmich (IWE)
Anwendungstechnik und technische Beratung, Bolte GmbH, r.trillmich@bolte.gmbh

Literatur

- [1] DIN EN ISO 14555: Schweißen – Lichtbogenbolzenschweißen von metallischen Werkstoffen. Ausgabe: 2017-10.
- [2] Merkblatt DVS 0902: Lichtbogenbolzenschweißen mit Hubzündung. Ausgabe: 2019-06.
- [3] Trillmich, R.; Welz, W.: Bolzenschweißen – Grundlagen und Anwendung. Fachbuchreihe Schweißtechnik, Band 133. 2. Auflage. DVS Media, Düsseldorf 2015.

» AKTIVES UND INTELLIGENTES SYSTEM ZUM VERBINDEN VON ZWEI ODER DREI BOLZENSCHWEIßGERÄTEN PRO-I ZU EINER LEISTUNGSSTARKEN EINHEIT

» SERIENMÄßIG INTEGRIERT IN DEN MODELLEN PRO-I 1300 UND PRO-I 2200

» KOMBINATIONSMÖGLICHKEITEN:

- » PRO-I 1300 + PRO-I 1300:
max. Schweißstrom/-zeit: 2100 A/1500 mS ⇒ max. Schweißdurchmesser 22 mm
- » PRO-I 1300 + PRO-I 1300 + PRO-I 1300:
max. Schweißstrom/-zeit: 3150 A/1500 mS ⇒ max. Schweißdurchmesser 25 mm
- » PRO-I 2200 + PRO-I 1300:
max. Schweißstrom/-zeit: 3150 A/1500 mS ⇒ max. Schweißdurchmesser 25 mm

PowerPackage



BOLTE



BOLTE



ALLES AUS EINER HAND:

- » **SCHWEIßBOLZEN**
- » **KOPFBOLZEN**
- » **GERÄTETECHNIK**
- » **ANWENDUNGSBERATUNG**



Bolte GmbH
Flurstraße 25
D-58285 Gevelsberg
Ohmstraße 3
D-85221 Dachau
info@bolte.gmbh