

Gerätetechnische Sicherheitsbetrachtungen beim nassen Unterwasserschweißen

Beim nassen Unterwasserschweißen ist bekanntlich das Risiko eines elektrischen Unfalls für den Schweißer (Taucher) durch Einwirkung des Schweißstromes auf den menschlichen Körper wesentlich höher als beim Schweißen unter Normalbedingungen. Die heutigen technischen Möglichkeiten müssen daher genutzt werden, um dieses Risiko auf ein Minimum zu reduzieren.

Allen, die im Arbeitsbereich des nassen Unterwasserschweißens tätig sind, muss klar sein, dass ein durch falsche oder schadhafte Gerätetechnik verletzter oder sogar getöteter Taucher, einer zuviel ist.

Um das Gefahrenpotential, das von solchen Geräten ausgeht, allen Beteiligten nochmals in Erinnerung zu rufen, finden Sie im Anhang einen Auszug aus einem medizinischen Lehrbuch zum Thema „*Wirkungen und Gefahren des elektrischen Stromes auf den menschlichen Körper*“.

Damit es nicht zu solchen elektrischen Unfällen kommt, muss nach VBG-15 gerätetechnisch dafür gesorgt werden, dass die Ausgangsspannung (max. 65V-DC) und damit der maximal zulässige Körperstrom einen gewissen Wert nicht überschreiten kann. Je nach Gerätekonzept sind daher unterschiedliche Sicherheitsmaßnahmen erforderlich.

Im Wesentlichen unterteilt man elektrische- bzw. elektronische Schweißstromquellen in zwei Kategorien, den primär geregelten und den sekundär geregelten. Schweißtechnisch gibt es zwischen diesen Stromquellenarten keine bzw. nur geringe herstellereigenspezifische Unterschiede (Bedienkonzepte). Der Vorteil der primär geregelten liegt bei Geräten unter 400 A Schweißstrom in ihrer kompakteren und leichteren Bauform. Der Vorteil der sekundär geregelten dagegen liegt in der hohen passiven Sicherheit der Ausgangsspannungsbegrenzung.

Primärgeregelte Schweißstromquellen:

Primärgeregelte Schweißstromquellen finden aufgrund ihrer kleinen und leichten Bauweise immer mehr Beachtung. Diese Bauweise bedingt allerdings auch, dass zwangsläufig die Abstände zwischen den einzelnen Baugruppen sehr gering sind und es erheblicher Anstrengungen bedarf, die nötigen Sicherheitsabstände bzw. Isolierungen zwischen Primär- und Sekundärkreis einzuhalten.

Bei primär geregelten Stromquellen findet die Stromregelung auf der Primärseite - also der Netzseite statt. Dies bedeutet, dass Eingangskreis und Ausgangskreis über die Steuer elektronik miteinander verbunden sind, bzw. nur über Optokoppler und Trennverstärker galvanisch voneinander getrennt sind. Optokoppler und Trennverstärker sind kleine elektronische Bauelemente, die eine max. Überschlagnspannung von 1,5 KV besitzen. Auf den Platinen werden aufgrund der kleinen Bauelemente Primär- und Sekundärkreis oftmals sehr eng aneinander vorbeigeleitet, wodurch sich bei unsachgemäßer Leiterbahnverlegung die Überschlagnspannung weiter reduzieren kann. Durch Verschmutzung und Feuchtigkeit kann es bei fehlerhafter Isolierung leicht zu Überschlagn kommen die im schlimmsten Fall die Primärspannung bis zu den Schweißbuchsen weiterleiten. Ein Bauteil- bzw. Isolationsdefekt in diesem Schaltungsbereich kann für den Schweißer unter Wasser daher fatale Folgen haben.

Da es keine passive Begrenzung der Ausgangsspannung gibt, muss die maximal zulässige Spannung elektronisch begrenzt werden. Ohne diese Begrenzung wären Ausgangsspannungen über 100 V normal.

Sekundärgeregelte Schweißstromquellen:

Zu den Sekundärgeregelten gehören alle Stromquellen, bei denen der Schweißstromkreis bereits am Netzeingang durch einen Transformator vom Netz galvanisch getrennt und auf eine niedrige Ausgangsspannung transformiert wird. Regel- und Leistungselektronik befinden sich bereits auf der Sekundärseite und arbeiten nur im Niedrigvoltbereich.

Diese Stromquellen bieten bauartbedingt den größtmöglichen Schutz von netzspannungsbetriebenen Schweißgeräten. Die zulässige Ausgangsspannung kann selbst bei elektronischen Defekten der Regel- oder der Leistungselektronik nicht überschritten werden. Ein Durchschlagen des Transformators zwischen Primär- und Sekundärkreis ist ohne äußere mechanische Einwirkung aufgrund der hohen Isolationsabstände (>1cm) kaum denkbar. Die Überschlagsspannung muss bei Transformatoren laut VDE mindestens 4 KV betragen.

Ein Anstieg der zulässigen Ausgangsspannung ist theoretisch nur durch Netzspannungsschwankungen (+ 10%) möglich. Daher sollte die Ausgangsspannung bei kurzzeitigen Spannungsschwankungen zusätzlich durch einen aktiven Spannungsbegrenzer auf die maximale Spannung limitiert werden. Eine weitere Sicherheitsbarriere kann bei dauerhafter, netzseitiger Überspannung durch Abschalten der Leistungselektronik mittels Ladenspannungsüberwachung (Sek. Spannung hinter dem Gleichrichter) erzielt werden.

Wenn bereits bei der Herstellung von sekundär geregelten Stromquellen, wie vom VDE vorgeschrieben, darauf geachtet wird, dass mit Netzspannung betriebene Bauteile wie Transformatoren, Lüfter und Pumpen mechanisch und verdrahtungstechnisch getrennt von den mit Sekundärspannungen betriebenen Bauteilen eingebaut und verlegt werden, ist ein Höchstmaß an Sicherheit gewährleistet.

Schlussbetrachtung:

Trotz aller theoretischen Überlegungen und „was-wäre-wenn-Betrachtungen“ kann man davon ausgehen, dass Schweißgeräte namhafter Hersteller heute ein hohes Maß an Sicherheit beinhalten. Dies schlägt sich selbstverständlich in einem höheren Gerätepreis nieder. Aber der ständig steigende Kostendruck und die Konkurrenz ausländischer Billiganbieter sorgen dafür, dass immer mehr unsachgemäße Geräte unseren Markt überschwemmen und mit falschen sicherheitstechnischen Aussagen die Anwender verwirren.

Leider gibt es auch bei uns einige schwarze Schafe, die meinen, preiswerte Geräte mit einigen elektronischen Tricks zum speziellen Unterwasserschweißgerät aufwerten zu können. Wer solche Machenschaften toleriert, macht sich im Ernstfall zumindest moralisch mitschuldig.

Meiner Meinung nach sollte es eine unabhängige Institution geben, die Geräte zum nasen Unterwasserschweißen prüft und freigibt. Ohne eine solche Gerätezulassung dürfte eine öffentliche Auftragsvergabe von Unterwasserschweißungen nicht erfolgen.

Dezember 2004, H. Schütte

Anhang:

Wirkungen und Gefahren des elektrischen Stromes

(Auszug aus einem medizinischen Lehrbuch)

Unfallarten

Man unterscheidet zwei Arten von Unfällen durch elektrischen Strom:

Primäre elektrische Unfälle:

entstehen durch die direkte Einwirkung des Stromes auf Muskeln, Nerven und Herz. Es gibt 4 unterschiedliche Wirkungen des Stromes auf den menschlichen Körper.

- Muskelverkrampfung
Die normale Muskulatur des Menschen hat eine Spannung von maximal ca. 30 mV (0,03 V). Kommt ein Muskel in Berührung mit den 230 V unseres Netzstromes, haben die 30 mV nichts mehr zu melden. Der Nerv hat seine Befehlsgewalt über den Muskel verloren und sie an die 230 V abgegeben.
Hat ein Mensch ein Gerät oder eine Leitung mit Stromkontakt in der Hand, kommt es zur Muskelverkrampfung, zum so genannten Hängen bleiben am Strom.
- Herzkammerflimmern
Der Herzmuskel hat eine maximale Spannung von ca. 130 mV (0,13 V).
Steht nun das Herz unter dem Einfluss des 230 V Netzstromes, so hat auch hier das herzeigene Reizleitungssystem seinen Einfluss auf den Muskel verloren, welcher zu zittern beginnt und kaum noch Blut in den Körper zu pumpen vermag.
Die Folgen sind: Sauerstoffmangel, Acidose, Gehirnschäden, Tod.
Bei einer Durchströmung mit Netzstrom beginnt das Kammerflimmern schon nach 0,1 Sekunden
Ab ca. 5 Minuten Dauer des Kammerflimmerns kommt es zum Herzstillstand.
- Thermische Wirkung
Bei Kontakt mit Starkstrom (Hochspannung) kommt es erst gar nicht zum Kammerflimmern, sondern zum sofortigen Herzstillstand.
Hinzu kommt bei diesen Stromformen eine starke Wärmewirkung, welche zu äußeren Verbrennungen auf der Haut und zu sehr gefährlichen inneren Verbrennungen an Organen führt.
- Ionisierende Wirkung
Strom kann auch chemische Bindungen zerstören oder auflösen.
Störungen des Stoffwechsels, des osmotischen Gleichgewichts, des Säure-Basen-Haushalts und des Elektrolythaushalts sind die Folgen.
Besonders gefährdet sind diesbezüglich Organe und Flüssigkeiten mit hohem Ionen-gehalt wie Blut, Niere, Leber.

Sekundäre elektrische Unfälle:

Kurze Stromstöße, seien es nun gefährliche oder ungefährliche Stromformen, führen oft zu unkontrollierten Reflexbewegungen. Die Folgen sind Verletzungen durch einen Sturz von der Leiter u. a.

Abhängigkeit der Wirkung des elektrischen Stromes

Von der Amperezahl:

Beim durchschnittlichen Widerstand des erwachsenen menschlichen Körpers von ca. 2000 Ohm (im ungünstigsten Fall nur 1000 Ohm) ergibt sich:

$$I = U/R = 230/2000 \text{ A} = 0,115 \text{ A} \quad (115 \text{ mA})$$

Von der Dauer der Durchströmung:

Ein kurzer Stromschlag, der normalerweise nur den Bruchteil einer Sekunde dauert, ist ungefährlich. Viel entscheidender ist, wie beim Vorgang des Kammerflimmerns schon dargelegt, die Durchströmungsdauer.

Von äußeren Umständen:

Nasse Hände, barfuss auf nassen Boden, in der Badewanne usw. (R = kleiner).

Von der körperlichen Verfassung:

Größe, Gewicht, Wassergehalt, Verträglichkeit.

Unterteilung der elektrischen Unfälle

Wie man Verbrennungen 1., 2. und 3. Grades unterscheidet, so unterteilt man auch die Unfälle durch Strom in 4 Gruppen:

Stufe 1: 0 – 25 mA

Diese schwachen Ströme spürt man als leichtes Kribbeln oder Vibrieren. Im medizinischen Bereich werden solche Ströme als Reizströme verwendet. Sie sind zwar ungefährlich, können aber zu Sekundärunfällen führen.

Stufe 2: 25 – 50 mA

- a) bei kurzer Durchströmung ungefährlich,
 - b) bei Durchströmung von mehr als 30 Sekunden: Kammerflimmern,
 - c) ab 5 Minuten: Herzstillstand.
- Ströme dieser Art findet man z. B. an elektrischen Weidezäunen.

Stufe 3: 50 – 3000 mA

Gefahren für den menschlichen Körper: Kammerflimmern, Muskelverkrampfung.

Stufe 4: ab 3 A

Herzstillstand, thermische und ionisierende Wirkung.

Unfallursachen

- Veraltete Geräte, Stecker, Leitungen
- Isolationsfehler an Geräten usw.
- Selbst gebastelte oder reparierte Geräte, Stecker, Leitungen
- Unsachgemäßer Umgang mit Geräten usw.
- Leichtsinn und Fahrlässigkeit
- Benutzung elektrischer Geräte im Bad