

Ersatz für Ausgabe Februar 2005

Inhalt:

- Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen
- 1 Geltungsbereich
- 2 Machbarkeit und Voraussetzungen
 - 2.1 Geeignete Werkstoffe
 - 2.1.1 Grundwerkstoffe
 - 2.1.2 Zusatzwerkstoffe
 - 2.2 Beanspruchung der Verbindung
 - 2.2.1 Temperatureinsatzbereich
 - 2.2.2 Belastungsfälle
 - 2.2.3 Korrosive Medien
 - 2.3 Konstruktionsvorgaben
 - 2.4 Ausbildung / Qualifikation
- 3 Qualität der Verbindung – Bewertungskriterien
 - 3.1 Anforderungen an den äußeren und inneren Befund
 - 3.2 Festigkeitsuntersuchungen
 - 3.2.1 Probenformen
 - 3.2.2 Auswertung
- 4 Nachbearbeitung
 - 4.1 Ausbessern / Reparatur
 - 4.2 Mechanische Bearbeitung, Lackieren und Oberflächenbehandlung
- 5 Einsatzbeispiele
- 6 Mitgeltende Normen und technische Regeln

Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen

Abkürzung	Bezeichnung	Einheit
Ag	Silber	-
Al	Aluminium	-
c	Oberfläche chemisch passiviert	-
co	Oberfläche chem. passiviert u. geölt	-
Cu	Kupfer	-
D _L	Lochdurchmesser bei Lochlötlungen	mm
EFW	European Federation for Welding, Joining and Cutting	-
Fe	Eisen	-
KTL	kathodische Elektrotauchlackierung, kathaphoretische Lackabscheidung	-
LN	Lötnaht	-
MAG	Metall-Aktivgas-Schweißen	-
MAG-L	Metall-Aktivgas-Löten	-
MIG	Metall-Inertgasschweißen	-
MIG-L	Metall-Inertgaslöten	-
MSG	Metall-Schutzgasschweißen	-
Mn	Mangan	-
Ni	Nickel	-
o	Oberfläche geölt	-
p	Oberfläche phosphatiert	-
R	Abstand Rand – Mitte Lötnaht	mm

R _{p0,2}	Ersatzstreckgrenze	MPa
Si	Silizium	-
Sn	Zinn	-
T	Betriebstemperatur	°C / K
WEZ	wärmebeeinflusste Zone	-
WIG	Wolfram-Inertgasschweißen	-
WIG-L	Wolfram-Inertgaslöten	-
WP	Wolfram-Plasmaschweißen	-
WP-L	Wolfram-Plasma-Löten	-
Zn	Zink	-
Zwst	Zusatzwerkstoff	-
a	a _{0,1} – Kehlnahtgröße bei Kehlnähten	mm
a*	a _{0,1} – Benetzungstiefe, Kehlnahtgröße bei Lötnahten	mm
b	Nahtbreite	mm
e	Nahtüberhöhung	mm
r	Radius der Lötnaht	mm
l _{1,2}	Länge der Unregelmäßigkeit	mm
r	Radius	mm
t _{1,2}	Blechdicke	mm
Δa _z	Wurzelrückfall	mm
θ	Benetzungswinkel	°

Geltungsbereich

Dieses Merkblatt gilt für das Lichtbogenlöten von unlegierten und legierten, unbeschichteten und beschichteten Stählen im Dickenbereich $t \leq 3$ mm. Anwendungs- und einsetzbezogen werden die Voraussetzungen zum Lichtbogenlöten, die Bewertung lichtbogengelöteter Verbindungen sowie die geplante sowie ungeplante Nacharbeit dieser Verbindungen beschrieben und Hinweise für den Praktiker gegeben. Dieses Merkblatt ist eine Ergänzung zum Merkblatt DVS 0938-1 „Lichtbogenlöten – Grundlagen, Verfahren, Anforderungen an die Anlagentechnik“.

Diese allgemeinen Beschreibungen machen detaillierte Untersuchungen nicht entbehrlich.

2 Machbarkeit und Voraussetzungen

Die Lichtbogenlötverfahren stellen vor allem im Dünoblechbereich eine Alternative zu den Schutzgasschweißverfahren dar. Die ersten und auch heute überwiegenden Anwendungen haben diese Verfahren im automobilen Karosseriebau gefunden.

Für sämtliche Anwendungen gilt, dass für die vorgegebene Konstruktion, den Werkstoff und die Anforderungen an die Verbindung wie:

- Festigkeit
- Dichtheit
- dekorative Wirkung

Diese Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beurteilung empfohlen. Der Anwender muss jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Eine Haftung des DVS und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

DVS, Ausschuss für Technik, Arbeitsgruppe „Lichtbogenschweißen“

Nachdruck und Kopie, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers

- Nachbearbeitbarkeit und
- Einsatz in speziellen Umgebungsbedingungen

die geeigneten Lötverfahren sowie geeignete Zusatz- und Hilfsstoffe ausgewählt werden können. Im Folgenden werden Hinweise für allgemeine und spezielle Einsatzfälle gegeben.

2.1 Geeignete Werkstoffe

2.1.1 Grundwerkstoffe

Das Lichtbogenlöten hatte seine ersten Einsätze beim Verbinden von unlegierten Tiefziehstählen im Dickenbereich unter 3,0 mm.

Die Entwicklung von höher- und hochfesten Stählen legte es nahe, diese Verfahren auch dafür einzusetzen, was jedoch nicht ungeprüft umgesetzt werden sollte. Die Vielzahl von Werkstoff- und Dickenkombinationen macht es unmöglich, hier eine umfassende Empfehlung zu geben.

Dennoch gibt es Anhaltswerte. Tabelle 1 zeigt eine Auswahl von Werkstoffkombinationen für unbeschichtete, elektrolytisch verzinkte und schmelzgetauchte Stahlbleche (zum Einfluss der Oberflächenbeschichtung wird auf Merkblatt DVS 0938-1 verwiesen).

Tabelle 1. Werkstoff-/Blechkombinationen und ihre Eignung zum Lichtbogenlöten – Scherzugversuch, ferritische Stähle, Zusatzwerkstoff: SG-CuSi3.

Werkstoffkombination	DC 05, 1,0 mm	DC 05, 1,5 mm	DX 53D +Z, 0,9 mm	DX 54D +Z, 1,6 mm	DX 54D +Z, 3,0 mm	DX 55D + Z, 1,0 mm	H 180 B, 0,8mm	H 220 P, 1,0 mm	H 220 P, 2,0 mm	H 260 LA, 1,0 mm*	H 260 LA, 1,2 mm	H 260 LA, 2,0 mm	H 340 LA, 1,5 mm
DC 05, 1,0 mm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
DC 05, 1,5 mm	X	X				X	X	X					
DX 53D + Z, 0,9 mm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
DX 54D + Z, 1,6 mm	X	X				X	X	X					
DX 54D + Z, 3,0 mm	X	X				X	X	X	X				
DX 55D + Z, 1,0 mm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
H 180 B, 0,8mm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
H 220 P, 1,0 mm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
H 220 P, 2,0 mm	X	X				X	X	X	X				
H 260 LA, 1,0 mm*	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
H 260 LA, 1,2 mm	X	X				X	X	X	X	X			
H 260 LA, 2,0 mm	X	X				X	X	X	X	X			
H 340 LA, 1,5 mm	X	X				X	X	X	X	X			

* Grenzfall, Prüfung unbedingt erforderlich!
 Als geeignet (X) wird eine Lötverbindung angesehen, wenn das Versagen im Scherzugversuch nicht in der Lötnaht tritt.

Zusätzlich zu den metallischen Beschichtungen gibt es Oberflächenbehandlungen (c, o, cp und andere), die einen Einfluss auf das Lötresultat haben können. Hier sollte die Erfahrung der Stahlhersteller genutzt werden.

Wenn eine Werkstoff-/Blechkombination ungeeignet ist, sind folgende Maßnahmen möglich:

- konstruktive Änderungen am Bauteil durchführen
- Beachtung der Konstruktionsvorgaben (siehe Abschn. 2.3)
- Durchführung ergänzender Untersuchungen
- eventuell Verwendung eines anderen Zusatzwerkstoffes
- gegebenenfalls Einsatz eines alternativen Fügeverfahrens z. B. MIG-Schweißen

Tabelle 1 gibt Anhaltswerte für vorwiegend statisch und auf Scherzug beanspruchte Verbindungen, Kehlnähte am Überlapp-

Die Lichtbogenlötverfahren werden auch an austenitischen CrNi-Stählen vor allem im dekorativ-künstlerischen Bereich an Blechdicken $\leq 2,0$ mm eingesetzt. Die Parameterfenster sind sehr klein und in umgeformten Bauteilbereichen kann es zu Lotrisbildung kommen. Deshalb wird nach heutigem Stand der Technik vom Lichtbogenlöten mit Eigenspannungen behafteter, austenitischer CrNi-Stähle abgeraten.

2.1.2 Zusatzwerkstoffe

Für die Auslegung von Lötstrukturen ist die Streckgrenze $R_{p0,2}$ eine entscheidende Größe. Bei dynamisch belasteten Bauteilen sollte die Dehnung des Zusatzwerkstoffes – bei gegebener Festigkeit – hoch sein. Im Allgemeinen steigt durch Legieren mit z. B. Mn, Fe, Ni die (Warm-)Festigkeit, die Dehnung nimmt jedoch ab. Bei einem geeigneten Lot treten keine intermetallischen Sprödphasen im Lötgut oder in der Übergangszone auf. Die Zusammensetzung des zu fügenden Grundwerkstoffes und dessen Gefügeausbildung muss ebenfalls in Betracht gezogen werden.

Schmelzbereich, Verfügbarkeit, dekoratives Nahtaussehen und Nachbearbeitbarkeit sind weitere Eigenschaften, welche die Auswahl eines geeigneten Zusatzwerkstoffes beeinflussen können.

Die Härte der hier besprochenen Cu-Basis-Zusatzwerkstoffe beträgt im reinen Lötgut etwa 60 bis 120 HV_{0,2} (Mittelwert), kann aber in Bereichen mit starker Abnutzung (Erosion des Grundwerkstoffes) bis auf etwa 400 HV_{0,2} (in Sonderfällen auch darüber) ansteigen. Schon aus diesem Grunde ist ein möglichst wärmearmes Arbeiten erforderlich. Höher legierte Zusatzwerkstoffe können höhere Härtewerte aufweisen.

Die Solidustemperaturen gängiger Lotwerkstoffe liegen zwischen 890 und 1080 °C.

Allgemein gilt: Bei kleinem Schmelzbereich ist auch die Gefahr der Heißrisbildung geringer.

Bild 1 gibt Eigenschaften (Richtwerte) von ausgewählten Cu-Basis-Zusatzwerkstoffen zum Lichtbogenlöten wieder. Unterschiedliche Legierungszusammensetzungen der Lotwerkstoffe können Schwankungen hinsichtlich der mechanischen Güterwerte bewirken.

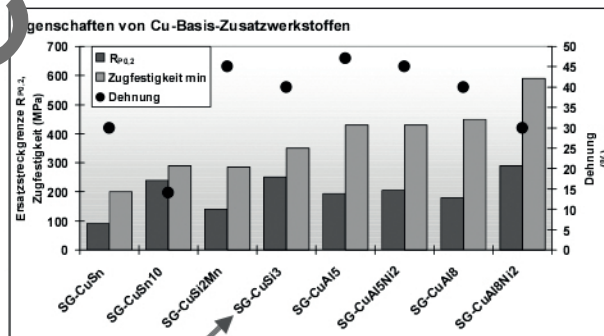


Bild 1. Mechanische Eigenschaften von Cu-Basis-Zusatzwerkstoffen nach DIN 1733-1 zum Lichtbogenlöten, SG-CuSi3 als Standardlot markiert, Zugfestigkeit, Ersatzstreckgrenze und Dehnung im Lötgut sind Richtwerte gemäß Herstellerangaben

Zu beachten ist:

- Herstellerangaben zu Festigkeitseigenschaften der Zusatzwerkstoffe beziehen sich immer auf Rundproben aus abgeschmolzenem Zusatzwerkstoff.
- Die Zusatzwerkstoffe zum Lichtbogenlöten haben eine begrenzte Haltbarkeit. Zu beachten sind die Lagerungsbestimmungen der Hersteller.

Die Angaben in Bild 1 berücksichtigen nicht den Einfluss:

- des Lötverfahrens,
- des (wärmebeeinflussten) Grundwerkstoffes,
- der Einstellung der Lötanlagen,