

Ersetzt Ausgabe September 2001

**Inhalt:**

1	Begriffserläuterungen	
2	Geltungsbereich	
3	Lichtbogenlöten	
3.1	Definition und Abgrenzung	
3.2	Zeichnungseintrag und Mechanisierung	
4	Prozesse	
4.1	MSG-Löten	
4.1.1	Kurzlichtbogenprozess	
4.1.2	Impulslichtbogenprozess	
4.1.3	Verfahrensvarianten	
4.2	WIG-Löten	
4.2.1	Varianten des WIG-Lötens	
4.3	Plasmalöten	
4.3.1	Varianten des Plasmalötens	
4.4	Verfahrenskombinationen	
5	Werkstoffe für das Lichtbogenlöten	
5.1	Grundwerkstoffe	
5.2	Oberflächenbeschichtungen und -vorbehandlungen	
5.3	Zusatzwerkstoffe und Hilfsstoffe	
5.3.1	Lotwerkstoffe	
5.3.2	Schutzgase	
6	Anforderungen an Lötanlagen	
6.1	Energiequellen zum MSG-Löten	
6.2	Energiequellen zum Plasmalöten	
6.3	Energiequellen zum WIG-Löten	
6.4	Drahtvorschubgerät	
6.5	Schlauchpaket	
6.6	Lötbrenner	
6.6.1	MSG-Löten	
6.6.2	Plasmalöten	
6.6.3	WIG-Löten	
7	Stoßarten und Anforderungen an die Nahtgeometrie	
8	Anforderungen an die Nahtqualität	
9	Prüfverfahren	
10	Korrosionsschutz	
11	Nacharbeit	
12	Arbeitsschutz	
13	Schrifttum	

MIG-L	Metall-Inert-Gas-Löten	–
MSG	Metall-Schutzgas-Schweißen	–
MSG-L	Metall-Schutzgas-Löten	–
MSG <sub>k</sub> -L	Metall-Schutzgas-Löten im Kurzlichtbogen	–
MSG <sub>p</sub> -L	Metall-Schutzgas-Löten im Impulslichtbogen	–
N <sub>2</sub>	Stickstoff	–
O <sub>2</sub>	Sauerstoff	–
PA	Wannenlage	–
PB	Horizontalposition	–
PPAB	Plasma Powder Arc Brazing	–
PG	Fallposition	–
R <sub>m</sub>	Zugfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>
R <sub>p0,2</sub>	Ersatzstreckgrenze	N/mm <sup>2</sup>
TRK	technische Nahtkonzentration	–
U <sub>S, eff</sub>	Schweißspannung, Effektivwert	V
V <sub>G</sub>	Gasvolumenstrom	l/min
WIG	Wolfram-Inertgas-Schweißen	–
WIG-L	Wolfram-Inertgas-Löten	–
WMSG	Wolfram-Schutzgas-Schweißen	–
WMSG-L	Wolfram-Schutzgas-Löten	–
WP	(Wolfram-)Plasma-Löten	–
a	a-Maß, Kenngröße bei Kehlnähten	mm
b	Benetzungstiefe	mm
d <sub>D</sub>	Drahtdurchmesser	mm
f <sub>0</sub>	Impulsfrequenz	Hz
f <sub>0, n.O.</sub>	vorgabengemäß	–
f <sub>0, n.O.</sub>	nicht vorgabengemäß	–
sp	Spaltbreite	mm
t	Blechdicke	mm
t <sub>min</sub>	minimale Blechdicke	mm
t <sub>p</sub>	Impulszeit	ms
t <sub>r</sub>	Restblechdicke	mm
v <sub>L</sub>	Lötvorschubgeschwindigkeit	m/min
v <sub>D</sub>	Drahtvorschubgeschwindigkeit	m/min
θ	Benetzungswinkel	°

**Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen**

Abkürzung	Bezeichnung	Einheit
Ar	Argon	–
A <sub>5</sub>	Dehnung, Messlänge 5 mm	%
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid	–
Cu-DHP	ehem.: Sn-Cu	–
F <sub>S</sub>	Schälzugkraft	N
H <sub>2</sub>	Wasserstoff	–
He	Helium	–
I	Lichtbogenstromstärke	A
MAG	Metall-Aktiv-Gas-Schweißen	–
MAG-L	Metall-Aktiv-Gas-Löten	–
MAK	maximale Arbeitsplatz-Konzentration	–
MIG	Metall-Inert-Gas-Schweißen	–

**1 Begriffserläuterungen**

**Adhäsion:**  
Das Haften von Atomen und Molekülen an Phasengrenzflächen, zurückzuführen auf zwischenmolekulare Kräfte (Adhäsionskräfte), die zwischen den Atomen oder Molekülen der beiden Stoffe bei Annäherung wirksam werden.

**Arbeitstemperatur:**  
Die niedrigste Oberflächentemperatur an der Lötstelle, bei der das Lot benetzt oder bei der sich durch Grenzflächendiffusion eine flüssige Phase bildet.

**Benetzung:**  
Das irreversible Ausbreiten eines geschmolzenen Lotes auf der Werkstoffoberfläche. Als Grenze zwischen Benetzung und Nichtbenetzung ist der Benetzungswinkel θ von 90° definiert.

Diese Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung 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

**Benetzungswinkel:**

Ein Maß für die Benetzung. Eine vollständige Benetzung liegt vor, wenn der Benetzungswinkel  $\theta \approx 0^\circ$  beträgt. Bei einem Benetzungswinkel von  $\theta \approx 180^\circ$  sind kaum Anziehungskräfte zwischen Lot und Grundwerkstoff vorhanden („Lot kugelt“).

**Diffusion:**

Ein Materiefluss unter der Wirkung eines chemischen oder elektrochemischen Potentialgradienten.

**Drall, Twist:**

Die Krümmungsdimension entlang der Achse der Drahthelix (zylindrische Spirale) kann als Abstand auf einer ebenen Unterlage zum Drahtende bestimmt werden.

**Erosion, Aufmischung:**

Eine örtliche Anlösung des Grundwerkstoffes durch das Lot. Sie ist auf die Schmelzbereichabsenkung von Randbereichen des Grundwerkstoffes durch Diffusion der an der Grenzfläche fester Grundwerkstoff / flüssige Lotphase befindlichen Elemente (z. B. B, Si, P) zurückzuführen. Das löttemperaturabhängige Diffusionsvermögen der im Lot enthaltenen Elemente in den Grundwerkstoff ist daher entscheidend für die Erosionsneigung der Lote.

**Intermetallische Phasen:**

Metallische Verbindungen, die – ähnlich einer chemischen Verbindung – sich von den Ausgangsmaterialien unterscheiden. Sie besitzen ein eigenständiges Kristallgitter mit bestimmter Anordnung der Komponenten. Die plastische Verformbarkeit der Kristalliten ist meist stark eingeschränkt; intermetallische Verbindungen sind bei Raumtemperatur hart und spröde. Häufig sind intermetallische Phasen nicht stöchiometrisch, sondern weisen einen ausgeprägten Homogenitätsbereich auf. Dieser kann sich temperaturabhängig verändern.

**Kapillarität:**

Verhalten von Flüssigkeiten in Kapillaren, engen Spalten oder Poren auch entgegen der Schwerkraft zu fließen.

**Löttemperatur:**

Die beim Löten an der Lötstelle herrschende Temperatur. Sie liegt oberhalb der Arbeitstemperatur.

**Löteindringung (engl.: LMP – Liquid metal penetration, deutsch: FME – Fremdmetalleindringung):**

Eindringen von Lot, in der Regel entlang der Korngrenzen, in den Spannungszustand des Grundwerkstoffes zurückzuführen ist und durch beteiligte Legierungselemente begünstigt werden kann; in der Regel werden die Eigenspannungen dadurch verringert.

**Overspray:**

Bezeichnet bei Spritz- und Sprühapplikation den Anteil des verspritzten Materials, welches nicht auf das Werkstück gelangt, sondern in Form von Sprühnebel oder Pulver in die Umgebung entweicht.

**Schmelzbereich des Lotes:**

Der Temperaturbereich vom Beginn bis zum Schmelzen (Solidustemperatur) bis zur vollständigen Verflüssigung (Liquidustemperatur).

**Sprungmaß, Vorbiegung bzw. Aufschlag:**

Die radiale oder auch zirkulare Krümmung eines Drahtes wird entweder als Durchmesser oder auch als Radius der Krümmung einer kompletten Rundung freiliegenden Drahtes gemessen.

**Stick-out:**

Die Länge des freien Drahtendes, gemessen von der Austrittsöffnung des Kontaktrohrs im Schweißbrenner bis zu dem Punkt, an welchem der Lichtbogen an der Drahtelektrode ansetzt und diese abgeschmolzen wird.

**Wärmeeinflusszone, HAZ (engl.: HAZ):**

Die Wärmeeinflusszone einer Lötverbindung ist der Bereich im Stahl, der unmittelbar an die aus dem schmelzflüssigen Zustand erstarrte Lötnaht angrenzt und in der es zu Gefügeveränderungen, z. B. Grobkornbildung, Rekristallisation und damit verbundenen Veränderungen der mechanisch-technologischen Eigenschaften kommt.

**2 Geltungsbereich**

Dieses Merkblatt gilt für die Lichtbogenlötverfahren (im Weiteren Lichtbogenlöten genannt) von un- und niedrig legierten Stählen im Dickenbereich  $t \leq 3$  mm. Technologische Aspekte dieser Fertigungsverfahren werden unter Berücksichtigung der erforderlichen Anlagentechnik beschrieben.

Diese allgemeinen Beschreibungen machen detaillierte Untersuchungen nicht entbehrlich.

**3 Lichtbogenlöten**

**3.1 Definition und Abgrenzung**

Die Lichtbogenlötprozesse können in Metallschutzgas-(MSG-L)- und Wolframschutzgas-(WSG-L)-Lötprozesse unterteilt werden, Bild 1.

Das Prinzip des Lichtbogenlötens ist gründerweise weitgehend identisch mit dem MSG-Schweißen bzw. dem (Wolfram-)Plasma-Schweißen mit drahtförmigen Zusatzwerkstoff. Als Zusatz werden hierbei überwiegend drahtförmige Kupferbasiswerkstoffe eingesetzt, deren Schmelzbereiche niedriger sind als die der Grundwerkstoffe. Zur weiteren Reduzierung der thermischen Belastung und für sehr dünne Bauteile befinden sich Zinkbasiszusatzwerkstoffe in der Erprobung.

Üblicherweise wird das Lichtbogenlöten an oberflächenveredelten bzw. unbeschichteten Feinblechen eingesetzt, da u. a. durch die niedrigere Schmelztemperatur des Lotes im Vergleich zum Schweißen eine geringere thermische Belastung der Bauteile erreicht wird, und die Beschichtung weniger geschädigt wird. Beim Lichtbogenlöten kommt es zu keiner wesentlichen Aufschmelzung des Grundwerkstoffes.

Bei den Lichtbogenlötprozessen sind üblicherweise keine Flussmittel erforderlich, da eine Reinigung und Aktivierung der Oberfläche durch den Lichtbogen erfolgt.

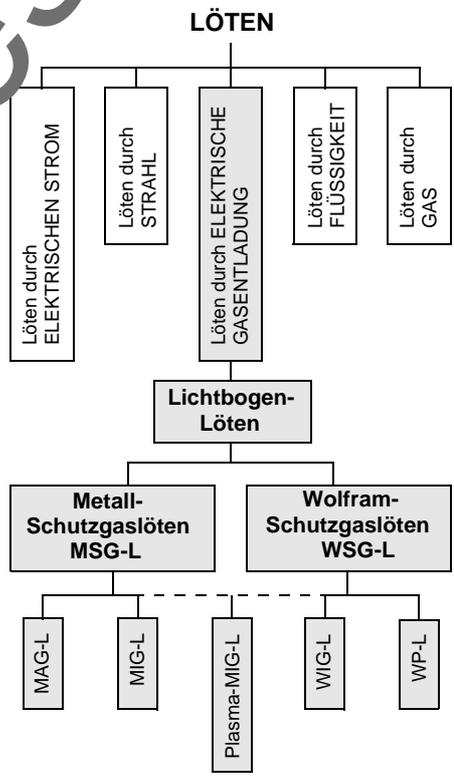


Bild 1. Einteilung der Prozesse nach Energieträgern mit Prozesskennzahlen nach ISO 4063.