

# Flussmittelfreies Löten mit Induktions- oder Widerstandserwärmung – eine Alternative zum Ofenlöten

Beztopnikowe lutowanie indukcyjne lub oporowe – alternatywa lutowania piecowego

## Zusammenfassung

In dem Beitrag werden die Möglichkeiten zum flussmittelfreien Löten von Stahl- oder Kupferbasisbaugruppen mit Induktions- oder Widerstandserwärmung vorgestellt.

Unter Berücksichtigung bestimmter Randbedingungen sind diese Lötverfahren dem Ofenlöten, das in der Industrie beim flussmittelfreien Löten eine vorherrschende Position einnimmt, überlegen. Trotz optimaler Gestaltung und Anordnung der Lötvorrichtungen war das Löten mit den oben genannten lokalen Erwärmungsverfahren bisher nicht in der Lage, Lötverbindungen mit blanken Oberflächen in kurzer Zeit herzustellen. Deshalb wurde dieses Verfahren bei der Wolf & Partner GmbH weiterentwickelt, um, wie beim Ofenlöten, blanke Lötbaugruppen nach dem Löten zu erhalten. Zu diesem Zweck werden die lokal erwärmten Bauteile durch einen Schutzgastunnel gefahren. Die Länge des Tunnels hängt von der Masse der zu lötenden Bauteile ab und beträgt ca. 1,0 m. Das Schutzgaslöten kann auf einem Taktisch oder in einem Linientransfersystem erfolgen. Das Lot wird als Draht über Drahtvorschübe oder Formteile automatisch an die Lötstelle gebracht.

**Keywords:** flussmittelfreies Löten; Ofenlöten; blanken Oberflächen; Induktions- oder Widerstandserwärmung; Schutzgastunnel

## Streszczenie

W pracy przedstawiono możliwości lutowania stali i stopów miedzi bez użycia topników, stosując grzanie indukcyjne lub oporowe. Uwzględniając określone warunki brzegowe tej metody lutowania, porównano ją z lutowaniem beztopnikowym piecowym, zdominowanym obecnie przez przemysł produkcji masowej. Pomimo optymalnego przygotowania i wyposażenia stanowiska do lutowania, metoda lokalnego grzania nie była w stanie doprowadzić do uzyskania połączenia z czystą/błyszczącą powierzchnią w tak krótkim czasie. Dlatego firma Wolf & Partner GmbH udoskonaliła wspomniane rozwiązanie aby, tak jak w przypadku lutowania piecowego, otrzymać polutowane elementy z czystą/błyszczącą powierzchnią. Efekt ten uzyskano, gdy miejscowo podgrzane elementy zostały wprowadzone do tunelu ochronnego. Długość tunelu zależy od wielkości lutowanych elementów i wynosi ok. 1 m. Lutowanie w osłonie gazu może być realizowane na linii transportowej skokowo lub w sposób ciągły. Lut w postaci drutu lub odpowiednich kształtek może być podawany automatycznie do miejsca lutowania.

**Słowa kluczowe:** lutowanie beztopnikowe; lutowanie piecowe; czyste powierzchnie; podgrzewanie indukcyjne lub oporowe; tunel z gazem ochronnym

## Einleitung

Das Schutzgaslöten von Lötbaugruppen in der Industrie erfolgt entweder durch das Löten im Durchlaufofen oder durch das Löten mit lokaler Erwärmung. Obwohl das Schutzgaslöten im Durchlaufofen solche Nachteile hat, wie

- Erwärmung des gesamten Bauteils
  - schlechte automatische Prozessgestaltung
  - ständiger Verbrauch von Elektroenergie und Schutzgas
- nimmt diese Technologie in der Löttechnik trotzdem eine führende Rolle ein. Zum Löten werden die Lötbaugruppen gesam-

melt, durch den Ofen geschickt und danach zur weiteren Bearbeitung durch den Betrieb transportiert. Diese diskontinuierliche Fertigungsmöglichkeit lässt nur schwer eine voll automatische Herstellung der Lötbaugruppen zu. Weiterhin wird das Ofenlöten dann problematisch, wenn die zu lötenden Baugruppen kaltverfestigt sind und diese Eigenschaft auch nach dem Löten noch vorhanden sein muss. Der entscheidende Vorteil des Ofenlötens besteht darin, dass die Oberflächen der Lötbaugruppen nach dem Löten blank sind und keiner Nacharbeit bedürfen.

Dr. Peter Salzberg – Potsdam.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: p.salzberg@flussmittelfreies-löten.de

Um beim Schutzgaslöten mit lokaler Erwärmung ebenfalls blanke Bauteiloberflächen zu erhalten, müssen die Bauteile nach dem Löten unter Schutzgas abgekühlt werden. Die Abkühlzeit ist massenabhängig und beträgt ca. 30 bis 180 s. Um diesen Zeitbedarf zu minimieren, wird beim Löten mit lokaler Erwärmung in mehreren Vorrichtungen gelötet, die nacheinander zu bedienen sind [1]. Eine derartige Arbeitsweise zieht zwangsläufig eine hohe Investition nach sich, weil jede Lötvorrichtung eine eigene Wärmequelle benötigt. Um auch mit lokaler Erwärmung blanke Bauteiloberflächen in kurzer Taktzeit zu erhalten, musste diese Löttechnologie abgeändert werden, um die Vorteile des Ofenlötens –blanke Oberflächen– mit den Vorteilen der lokalen Erwärmung -vollautomatische Herstellung von Lötbaugruppen- zu verbinden.

Zu diesem Zweck werden die lokal erwärmten Bauteile durch einen Schutzgastunnel gefahren. Die Länge des Tunnels hängt von der Masse der zu lötenden Bauteile ab und beträgt ca. 1,0 m. Das Schutzgaslöten kann auf einem Taktisch oder in einem Linientransfersystem erfolgen. Das Lot wird als Draht über Drahtvorschübe oder Formteile automatisch an die Lötstelle gebracht.

## Physikalische Grundlagen des Tunnellötens

Die notwendigen Änderungen zu den herkömmlichen Verfahren sind aus den physikalischen Vorgängen des Lötprozesses ableitbar. Die blanken Oberflächen entstehen beim Schutzgaslöten während des Erwärmungsprozesses und sind Voraussetzung für das Fließen des Lotes. Kühlt das Bauteil unter Schutzgas lange genug ab (auf ca. 200 °C), dann bilden sich an der Atmosphäre keine sichtbaren Anlassfarben auf der Bauteiloberfläche aus und das Bauteil bleibt blank. Damit die gelöteten Bauteile ohne zusätzlichen Zeitaufwand abkühlen können, müssen sie, wie beim Schutzgasdurchlaufofen, solange durch eine sauerstofffreie Schutzgasatmosphäre gefahren werden, bis sich keine Anlassfarben mehr ausbilden können. Dieses erfolgt am einfachsten, indem das Bauteil mit Werkstückträger durch einen feststehenden Schutzgastunnel bewegt wird. Das kann mittels Rundtaktisch im Kreis oder im Horizontaltransfer mittels Hubbalken in einer Linie erfolgen. Die Lötbaugruppen können manuell oder automatisch in den Tunnel gebracht werden. Die Erwärmung erfolgt lokal mittels Widerstands- oder Induktionserwärmung.

Bei der Widerstandserwärmung ist die Lötstelle in den Sekundärstromkreis eines Transformators zu montieren. Durch die direkte Ankopplung von Bauteil und Elektroden wird der Sekundärstromkreis kurzgeschlossen. Nach Anlegen einer Spannung an die Primärwindung des Trafos wird ein hinreichend großer Strom erzeugt, sodass die Fügestelle, die sich in einer speziellen Schutzgaskammer befindet, im direkten Stromdurchgang erwärmt wird. Zunächst erwärmt sich die Kontaktstelle (Wärmequelle) und dann durch Wärmeleitung der Rest des Bauteils. Bei einer Einsteckverbindung liegt die Kontaktstelle im Innern der Lötstelle. Damit kommt die Wärme bei diesem Erwärmungsverfahren von innen. Dieses Erwärmungsverfahren ist für das Löten von kleinen und kompakten Bauteilen gut einsetzbar.

Bei der Induktionserwärmung erfolgt das Ankoppeln zwischen Induktor und Bauteil berührungslos. Die zum Löten notwendige Arbeitstemperatur wird durch Wirbelstromwärme an der Außenhaut des Bauteils erzielt. Durch die Wärmeleitung erwärmt sich dann das gesamte Bauteil. Damit lässt sich ableiten, dass die Induktionserwärmung für das Löten

von großen und dünnwandigen Bauteilen hervorragend geeignet ist. Als Schutzgase haben sich für beide Fügeverfahren Argon 4.6, Formiergas 90/ 5 oder Stickstoff 4.6 bewährt.

Das Ausbreiten eines Lotes unter Schutzgasbedingungen ist folgendermaßen erklärbar: Die Benetzung einer Metalloberfläche durch Lot setzt voraus, dass die auf ihr haftende Oxidschicht entfernt werden muss. Von Lugscheider u.a. [2] ist gezeigt worden, dass für das Aufbrechen der Oxidschicht die unterschiedliche Wärmeausdehnung von Grundwerkstoff und Oxid verantwortlich ist. Sind die Abweichungen der Gitterparameter bzw. Atom- und Molvolumen von Oxid und Grundwerkstoff größer als 15% Prozent, so kommt es bei Temperatureinwirkung zum Aufplatzen der Oxidschicht, sodass die Metalloberfläche frei liegt. Dieser Vorgang ist werkstoff- und temperaturabhängig. Die Kinetik der Oxidationsreaktionen von kompakten porenfreien Oxidschichten erfolgt im Allgemeinen nach dem logarithmischen bzw. parabolischen Wachstumsgesetz, dagegen verhalten sich poröse Deckschichten linear. Die Temperaturangaben für den Ablauf der Oxidationskinetik nach dem linearen Dickenwachstumsgesetz können aus der Literatur entnommen werden [3,4]. Sie sind gleichzeitig die Mindesttemperaturen (Tabelle I) für die Benetzung einer Oberfläche durch ein flüssiges Lot, bei denen eine Lotausbreitung unter Schutzgas zu erwarten ist.

**Tabelle I.** Mindesttemperaturen für das Schutzgaslöten  
**Tablica I.** Minimalna temperatura lutowania w gazie ochronnym

Metall/ Metalllegierung	Mindesttemperaturen für das Schutzgaslöten in °C
Aluminium	475
Titan	850
Kupfer	600
Nickel	1000
Fe/ Cr (9,22% Cr)	670
Fe/ Cr (13,84 %)	590
18/ 8 Cr-Ni-Stahl	950

Tabelle I zeigt, dass teilweise hohe Löttemperaturen vorhanden sein müssen, um flussmittelfrei löten zu können. Da diese Mindesttemperaturen auch gleichzeitig die Mindesttemperaturen für den Ablauf der Oxidation nach dem linearen Dickenwachstumsgesetz sind, ist davon auszugehen, dass bei genügend hoher Temperatur poröse Oxidschichten auf dem Grundwerkstoff vorhanden sein müssten, sofern dafür gesorgt wird, dass das freigelegte Metall nicht reoxidieren kann. Die Reoxidation lässt sich verhindern, wenn an dieser Stelle der Sauerstoffpartialdruck genügend gering gehalten wird. Dessen Höhe hängt vom Sauerstoffanteil des verwendeten Schutzgases, von der Menge des isolierten Gasvolumens um das zu lötende Bauteil, vom Vorhandensein von Oxiden auf der Oberfläche der Ausrüstung (Tunneloberfläche, Schutzkammer) und von der Lötzeit ab. Je geringer das Kammervolumen ist, je weniger Oxide auf den Metalloberflächen vorhanden sind und je kürzer die Lötzeit ist, desto geringer ist auch die Sauerstoffmenge in der Lötatmosphäre und damit auch der Sauerstoffpartialdruck. Durch die Anwendung der Widerstands- oder Induktionserwärmung werden die Bauteile in kurzer Zeit gelötet. Der Schutzgastunnel ist so auszuführen, dass dessen Oberfläche gering ist, um nicht unnötig viel Sauerstoff bei der Erwärmung in die Lötatmosphäre zu bringen.

## Schutzgastunnellöten von Bauteilen

### Das Löten von Ventilkörpern aus Messing mit Rohren aus Kupfer

Die nachstehende Baugruppe, bestehend aus einem Messingventilkörper mit 2,5% Blei und 2 Stück Kupferrohren, sollte flussmittelfrei mit LAg55Sn gelötet werden, Bild 1.



**Bild 1.** Ventilkörper aus Messing mit Rohren aus Kupfer, gelötet mit LAg55Sn (Quelle: Wolf & Partner GmbH)

**Rys. 1.** Mosiężny korpus zaworu z rurkami miedzianymi, lutowane spoiwem LAg55Sn (źródło: Wolf & Partner GmbH)

Folgende Randbedingungen waren vorgegeben:

1. Taktzeit: 18 Sek.
2. Schutzgas: Formiergas mit 5% Wasserstoff
3. Oberfläche nach dem Löten: blank
4. Oberflächentemperatur Ausgabe: 55 °C
5. Arbeitsweise: halbautomatisch mit manueller Bestückung im Sitzen oder im Stehen

Um diese Randbedingungen erfüllen zu können, wurde die Aufgabe mittels Induktionserwärmung im Schutzgastunnel auf einem höhenverstellbaren Rundtaktisch mit 20 Stationen gelöst. Wegen der Vielfältigkeit der Lötbaugruppen (zwei unterschiedliche Ventilkörper, zwei unterschiedliche Rohrdurchmesser und acht unterschiedlich lange Rohre), ist auf eine vollautomatische Lösung aus Kostengründen verzichtet worden. Die Bauteileingabe erfolgt manuell durch das Bedienpersonal. Die Ausgabe wird durch ein Handling vorgenommen. Da in Vorversuchen eine Lötzeit von 15 Sekunden ermittelt wurde, musste in zwei Stationen gelötet werden. In einer Station wird die 1. Lötung ausgeführt und in der zweiten Station die 2. Lötung, so dass bei einem Umlauf eine Komplettbaugruppe fertig gestellt wurde und der Ventilkörper mit der 1. Lötung umgedreht werden muss.

Die Arbeitsweise der Lötteinrichtung wird durch den nach folgend beschriebenen Arbeitsablauf deutlich:

- manuelle Eingabe eines Ventilgehäuses auf ein Einlegeband;
- automatische Entnahme der komplett gelöteten Baugruppe aus der Bedien- und Entnahmestation (Platz 2 des Werkstückträgers) durch das Handling;
- automatische Entnahme der gelöteten Baugruppe aus Platz 1 des Werkstückträgers, drehen der Baugruppe und automatisches Montieren der Baugruppe in Platz 2 des Werkstückträgers;
- automatisches Einlegen des auf dem Band befindlichen Ventilkörpers durch das Handling;
- manuelles Bestücken von zwei Ventilkörpern mit jeweils einem Rohr und einem Lotring (hierfür ist jeweils ein Lotring schon auf dem Rohr montiert);
- automatisches Verfahren des Rundtaktisches nach Ablauf der eingestellten Taktzeit. Dafür muss das Bedien-

personal die Hände aus dem Gefahrenbereich nehmen, weil dieser durch ein elektronisches Gitter geschützt wird. Das Gitter wird nach Ablauf der Taktzeit aktiviert. Befindet sich zum Zeitpunkt der Aktivierung ein Gegenstand im Lichtgitterbereich, wird aus Sicherheitsgründen eine Abschaltung erwirkt, die zum Stopp der Maschine führt;

- automatisches Zuschalten des Schutzgasstromes (Innen- u. Außenformierung);
- automatisches Löten der Lötstellen Rohr – Ventilgehäuse;
- nach der Beendigung des Lötens wird das gelötete Bauteil durch den Schutzgastunnel weiter getaktet;
- automatische Entnahme der gelöteten Ventilbaugruppe und Bestücken der Werkstückträger wie oben beschrieben. Die so hergestellten Lötverbindungen entsprachen den Qualitätsansprüchen. Die Verbindungen waren dicht und fest. Die Bauteile besaßen nach dem Löten blanke Oberflächen mit einer max. Temperatur von 55 °C.

### Löten von Ringstück-Rohrverbindungen

Für die Automobilindustrie sollten, siehe Bild 2, Lenkungsteile, die an beiden Rohrenden jeweils ein Ringstück besitzen, gelötet werden.



**Bild 2.** Lötbaugruppe aus Stahl mit Cu Sn 6 gelötet (Quelle: Wolf & Partner GmbH)

**Rys. 2.** Elementy stalowe polutowane spoiwem CuSn6 (źródło: Wolf & Partner GmbH)

Folgende Randbedingungen waren vorgegeben:

1. Taktzeit: 17 Sekunden
2. Schutzgas: Stickstoff 4.6
3. Oberfläche: Anlassfarben erlaubt
4. Arbeitsweise: mit automatischer Bestückung und Entnahme

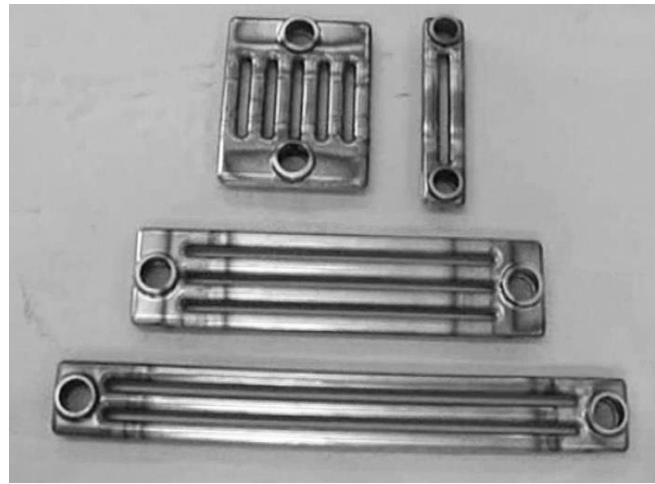
Um diese Randbedingungen erfüllen zu können, wurde die Aufgabe mittels Induktionserwärmung im Schutzgastunnel auf einem Rundtaktisch mit 12 Stationen gelöst, in den zwei Lötstationen integriert sind. Die Bauteileingabe bzw. Ausgabe erfolgt automatisch durch ein Übergabehandling. Die Belötung wird durch automatische Drahtvorschübe vorgenommen. Nach der Lötung erfolgt eine Prüfung der Hohlkehlen auf Fehler durch ein Bildverarbeitungssystem. Der Rundtaktisch ist ein Teil eines automatischen Fertigungsnetzes, in dem die Baugruppe montiert, gelötet und gebogen wird. Nach einer Taktzeit von 17 Sekunden verlässt eine komplett gelötete und auf Fehler automatisch untersuchte Lötbaugruppe den Taktisch. Durch die Prüfung wird entschieden, ob die Lötung in Ordnung (i.O.) oder nicht in Ordnung (n.i.O.) ist. Die n.i.O.-Baugruppen werden vor dem Biegen ausgeschleust.

Die so hergestellten Verbindungen sind fest und dicht und entsprechen den Qualitätsanforderungen.

### Löten von Heizkörperelementen im Horizontaltransfer mittels Hubbalken

Für die Herstellung der Heizkörperelemente (s. Bild 3) wurde eine vollautomatische Maschine entwickelt und gefertigt. In dieser Maschine werden die Lötstellen automatisch mit Lotringen aus Kupfer bestückt (im Innern der Kopfstücke) und danach die Heizkörperelemente automatisch montiert.

Das Löten aller Lötstellen erfolgt in zwei Lötstationen gleichzeitig. Hierfür wurden zwei Klappinduktoren für jeweils sechs Lötstellen eingesetzt. Mit diesem Equipment lassen sich 2,3,4,5,und-6 Säuler löten. Die Länge der Heizkörper ist variabel und beträgt 280 mm bis 800 mm. Der Transport der Heizkörperelemente erfolgt über einen Horizontaltransfer nach dem Hubbalkenprinzip. Die Taktzeit für das Herstellen eines Heizkörperelementes beträgt 20 Sekunden. Das Auftreten von Anlassfarben war erlaubt.



**Bild 3.** Heizkörperelemente gelötet mit Kupferlotringen (Quelle: Wolf & Partner GmbH)

**Rys. 3.** Elementy grzejnika polutowane pierścionkami Cu (źródło: Wolf & Partner GmbH)

---

## Zusammenfassung

Anhand der o.g. Beispiele wurde aufgezeigt, dass durch die Entwicklung des Tunnellötens mit lokaler Erwärmung ein Schutzgaslötverfahren entstanden ist, das die Vorzüge der lokalen Erwärmung mit den Vorzügen des Durchlaufofens vereint. Hierzu werden die Baugruppen induktiv oder deduktiv erwärmt und durch einen Schutzgastunnel getaktet. Das kann mittels Rundtakttisch im Kreis oder im Horizontaltransfer nach dem Hubbalkenprinzip in der Linie erfolgen. Voraussetzung hierfür ist, dass der Schutzgastunnel so lang gewählt wird, dass das Bauteil unter Schutz genügend Zeit zum Abkühlen hat, um nach Verlassen des Tunnels an der Luft nicht mehr anzulaufen. Die so hergestellten Verbindungen sind blank, fest und dicht und erfüllen die üblichen Qualitätskriterien, die an eine gute Lötnaht gestellt werden.

## Literatur

- [1] Salzberg, P.: Ein Beitrag zum flussmittelfreien Schutzgaslöten mit lokaler Erwärmung DVS-Berichte, Bd. 212, Düsseldorf: Verlag für Schweißen und Verwandte Verfahren, DVS-Verlag, 2001, s. 155-159.
- [2] Lugscheider, E., H. Zhuang: Mechanismen der Entfernung benetzungshemmender Oberflächenoxidschichten des Stahls X10CrNiNb18.9 beim Vakuumlöten, Schweißen und Schneiden 34 (1982), H. 10, s. 490-495.
- [3] Kubaschewski, O., u. O. von Goldbeck: Über das Zundern von Legierungen. Metalloberfläche 7 (1953), H. 8, S. A 113/ 18.
- [4] Fischer, H., Hauffe, K. u. Wiederholt, W. (Hrsg.): Passivierende Filme und Deckschichten: Anlaufschichten. Mechanismus ihrer Entstehung und ihre Schutzwirkung gegen Korrosion, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1956.