

5
2021

DER PRAKTIKER

Das Magazin für Schweißtechnik und mehr

Schnell, prozesssicher, sogar automatisierbar:

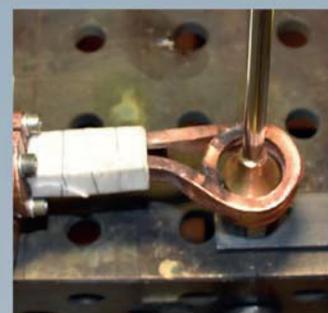
Löten mit Tiefeninduktion



Tiefeninduktion:

- Leistungsstark
- Energieeffizient
- Kaum Lärm
- Keine Blendung
- Reproduzierbar und risikoarm wärmen
- Keine unkontrollierbar davonlaufenden Oberflächentemperaturen
- Hartlöten, weichlöten
- Kupfer/Kupfer, Kupfer/Edelstahl, Kupfer/Messing,...
- Ring- oder Haken-Induktoren
- Perfekte Lot- und Flussmitteldosierung durch Fülldrahtlot

VauQuadrat



Kein Lithiumbrand durch Wärmeeintrag:

Laserstrahlschweißen in der Batteriefertigung

Seite 194

Erfolgreiche Zusammenarbeit:

Neubau einer mobilen Rettungswinde für die Grubenrettung

Seite 206

Neue Anwendungen:

Induktionslöten mit Tiefeninduktion

Seite 210

INDUKTIONSLÖTEN MIT TIEFENINDUKTION

Neue Anwendungen

Thomas Vauderwange, Offenburg

Eigentlich hätte dieser Beitrag eine Anwendungsreportage bei einem Kunden der VauQuadrat GmbH, Offenburg, werden sollen. Aber das wäre auf Basis der aktuellen Corona-Beschränkungen nur schwer möglich gewesen. Andererseits ist der nächstgelegene Kunde direkt im Untergeschoss des Unternehmens – der eigene Kältemaschinenbau; und der lötet zu 100% mit der eigenen Tiefeninduktionstechnologie.



▲ Bild 1. Mit dem normalen Lotstab und einem Standardinduktor scheiterten die Versuche: zu ungleichmäßige Erhitzung des Werkstücks, das Lot bekommt keine Induktion ab.



◀ Bild 2. Verzinnen auf Stahl aller Arten und Dicken ist mit Tiefeninduktion einfach und prozesssicher.

Begonnen hat das Thema schon 2011, als bei einer Vorführung, bei der es an sich um das thermische Richten und Vorwärmen vor dem Schweißen gehen sollte, auf einmal die Frage im Raum stand, ob man denn mit der Induktionstechnologie von VauQuadrat nicht auch Hartmetallplättchen mit Silberlot auf Stahl auflöten könnte – denn dass sich Glühtemperaturen bis 700°C problemlos erreichen lassen, sah man ja sofort.

Die Versuche mit dem damaligen Standardinduktor und Lotstäben, bei denen das Flussmittel die äußere Umhüllung darstellt, waren vollkommen gescheitert. Einerseits war die Erwärmung der zwei Fügstücke nicht gleichmäßig genug, andererseits gelang es nicht, das Lot über reinen Wärmeübergang aus der glühenden Stahloberfläche hinreichend zu erwärmen. Denn dass in den dünnen Lotstab kaum Induktion einkoppeln kann, war absehbar.

Aber das Interesse für das Thema war geweckt. Versuche mit Kupferrohrfittings und niedrig silberhaltigen Phosphorlotstäben kamen jedoch zum selben, negativen Ergebnis: Gerade bei runden Querschnitten über einem Durchmesser von 10 mm wird es mit dem Standardinduktor mühsam mit der Gleichmäßigkeit. Wiederum war es fast unmöglich, das Lot durch Wärmeübergang auf Temperatur zu bringen (**Bild 1**).

Was hingegen auf Anhieb funktionierte, war das schnelle und risikofreie Verzinnen, sei es im Bereich Karosserie oder im Spezialfahrzeugbau: mit Weichlotpaste einpinseln, mit dem Standardinduktor in einem Abstand von 5 bis 10 mm über der Paste schweben und bei eingebrachter Leistung zusehen, wie die Oberfläche plötzlich glänzt. Danach mit einem feuchten Lappen abwischen – fertig. Im Bereich Karosserie wird danach beispielsweise

auch noch mit einem fingerdicken Lotstab, der nur bis in den gut teigigen Bereich gewärmt wird, eine größere Delle aufgefüllt, bevor eben geschliffen und neu lackiert wird. Die Herausforderung dabei: Die Arbeitsfläche ist so gut wie nie waagrecht, am Auto im Falle einer Tür oder eines Schwellers eher senkrecht oder sogar leicht überhängend. Wenn man dabei die Temperatur des Lots nicht perfekt im Griff hat, tropft alles auf den Boden.

Das war bei den althergebrachten Loten mit 60% Zinn und 40% Blei bei einem Schmelzpunkt um die 190°C schon handwerklich anspruchsvoll. In der Zwischenzeit ist das Blei aber in den Werkstoffen nicht mehr gerne gesehen und die hoch zinnhaltigen Ersatzlote haben einen Schmelzpunkt, der nochmal gut 30 bis 40 K höher liegt. Mit Tiefeninduktion hingegen ist auch das relativ einfach beherrschbar. Auch da gilt wieder: den Induktor in etwas Abstand halten, eine Leistung anwählen, sodass das Aufschmelzen etwas langsamer passiert, und dann genau hinschauen.

Entscheidend beim Verzinnen von Werkstoffen, die ihre besonderen Eigenschaften durch Abschrecken und gar kein oder nur niedriges Anlassen bekommen: Mit Tiefeninduktion gelingt es in handwerklich einfacher Weise, die Schmelztemperatur des Lots auch im Grundwerkstoff kaum zu überschreiten, und das prozesssicher ganz ohne Temperaturmessungen. Allein der Blick auf die sich verändernde Zinnpaste genügt (**Bild 2**).

Lotgeometrie und Gleichmäßigkeit der Temperatur

Sehr schnell war also klar, dass es erforderlich wäre, das Lot so am Werkstück zu platzieren, dass eine möglichst großflächige Erwärmung durch den von der Induktion durchströmten Grundwerkstoff passiert – oder aber, dass im Lot selbst eine gewisse Menge induktiver Einkoppelung erfolgen kann. Bei den ersten Versuchen geschah das dadurch, dass beispielsweise Phosphorlotstäbe zum Ring geformt wurden; dasselbe bei Silberlotstäben, für deren Verwendung es dann aber wegen des abplatzenden Flussmittelmantels notwendig war, beide Seiten der geplanten Lötverbindung mit einer Flussmittelpaste (zum Beispiel „CuFe Nr. 1“ von Felder oder andere Flussmittel vom Typ FH10 nach DIN EN 1045) einzupinseln.

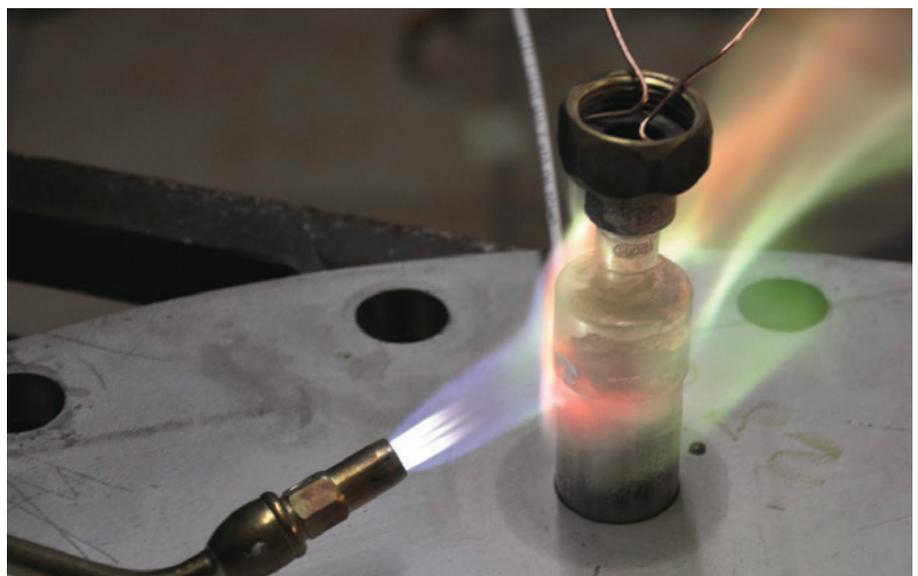
Nun war für die verbreitete und auch bei VauQuadrat intern immer wieder benötigte



◀ Bild 3. Einer der frühen Versuche mit einem Ringinduktor und selbstgebogenem Lotring – die Effizienz passte noch nicht.



◀ Bild 4. Die offenen Induktorgeometrien der „Hookyduktor“-Serie erlauben das Löten von Rohrverbindungen, bei denen ein Kreislauf geschlossen wird, sodass ein einfacher Ringinduktor nicht mehr herauskäme.



▲ Bild 5. Hartlöten einer Verbindung Chromnickelstahl-Kupfer mit Propansauerstoff-Brenner und flussmittelumhülltem Silberlotstab



◀ Bild 6. Das verwendete Tiefeninduktionsgerät beruht auf dem „VauQuadrat V4“ mit bis zu 18 kW Induktionsleistung (Stromanschluss: 3 × 400 V/32 A (21 A))

Anwendung des Verlötns von Kupferfittings aber noch das Thema der gleichmäßigen Erwärmung zu klären. Denn obwohl es schon damals möglich war, mit Hilfe des Standardinduktors und handwerklich extrem geschickter (und schneller) Bewegung eine gute Lötstelle hinzubekommen, war doch klar, dass das in puncto Handhabbarkeit und Prozesssicherheit keine Option sein würde.

Andererseits gab es aber dann die ersten Versuche mit Innenfelderwärmung durch

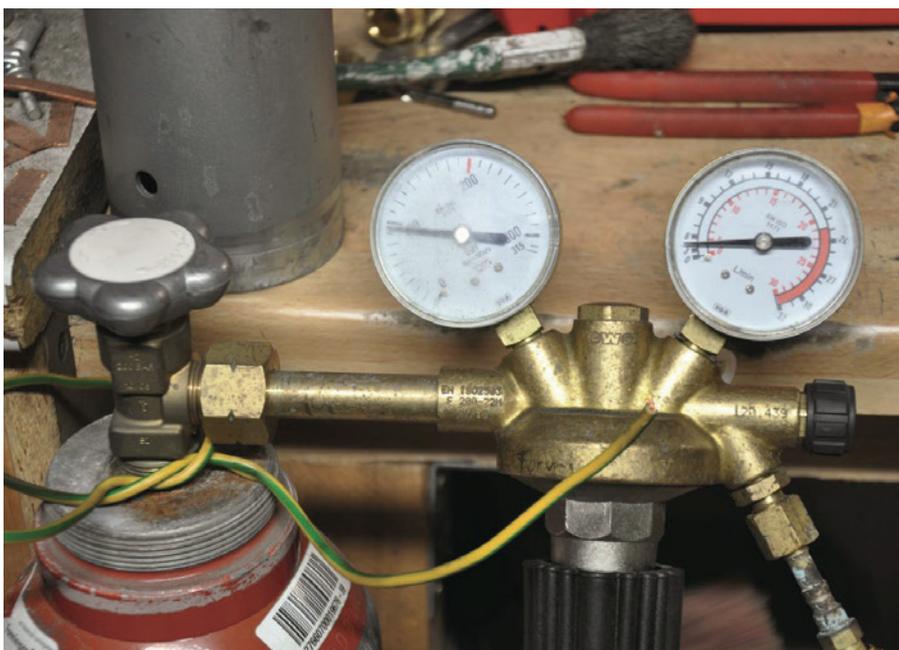
einen Ringinduktor. Da liegt bei Verwendung von Tiefeninduktionsgeräten durchaus der Teufel im Detail, denn für den Anspruch langer Einschaltdauer und einer hohen Energieeffizienz muss die Abstimmung des Geräts auf den Induktor passen (Bild 3). Durch den Einsatz professionell gefertigter Lotringe aus Phosphorlot („VQBraze 5“-Serie) und vor allem von Ringinduktoren passender Geometrie war es ab etwa 2014 möglich, die Anwendung Kupfer-Kupfer im Durchmesserbereich

6 bis 28 mm prozesssicher zu löten – solange es um Geometrien ging, bei denen der Ringinduktor nach der Lötung wieder abgezogen werden konnte. Es konnte bei diesem Einsatz also immer nur um Baugruppen-Vorfertigung gehen, die letzten Lötungen beispielsweise zum Schließen eines Kältekreislaufes waren damit aber nicht machbar.

Dafür wurden hakenförmige, also offene Induktoren im passenden Durchmesserbereich, gebraucht, die mit der „Hookydaktor“-Baureihe zur Verfügung stehen (Bild 4). Die zunächst unerwartete Erkenntnis: Die Erwärmung geschieht sehr gleichmäßig, nicht nur dort, wo das Kupfer des Induktors hinreicht, sondern auch auf dem Rest des Rohrquerschnitts. Die Wirbelströme machen es möglich. Somit waren die Voraussetzungen geschaffen, an einer Kälteanlage oder einem Glykol-Kühlkreis sämtliche Lötstellen im Bereich Kupfer-Kupfer oder aber auch Kupfer-Messing auszuführen.

Was hingegen noch fehlte, war eine Möglichkeit, die handwerklich extrem anspruchsvollen Lötstellen an handelsüblichen Plattenwärmetauschern herzustellen, bei denen jeweils ein Kupfer-Absatznippel Typ 5243 nach DIN EN 1254 in einen Stutzen aus Chromnickelstahl zu löten ist. Als Lot kommt eine Legierung mit höherem Silbergehalt in Frage. Bei der verbreiteten Lotstabform mit Flussmittelumhüllung wird bei der herkömmlichen Anwendung mit einer Autogenflamme möglichst gleichmäßig erwärmt und währenddessen zunächst das Flussmittel ringsum aufgetragen. Hier besteht die große Gefahr, dass Teilflächen des Chromnickelstahls vom Flussmittel unbenetzt bleiben. Wirkt die Flamme zu lange auf diese Flächen, so kommt es zu einer Oxidation, mit der das Flussmittel nicht mehr fertig wird.

Im Ergebnis erfolgt beim darauffolgenden Auftrag des eigentlichen Lots (Bild 5) keine flächige Benetzung mit dem Lot. Schaut man genau hin, sieht man das und kann vielleicht durch mehr Flussmittel Abhilfe schaffen. Übereifriges Auftragen des Lots kann möglicherweise dafür sorgen, dass man davon bei einer Sichtprüfung nichts mehr sieht. Aber genau das führt zu Fehlstellen, die bei einer Druckprüfung vielleicht entdeckt werden; vielleicht aber auch nicht, da durch eingelagertes Flussmittel auch bei Prüfdrücken von 25 bar zunächst Dichtheit suggeriert wird.



▲ Bild 7. Formiergas mit 90% Stickstoff und 10% Wasserstoff aus einer Gasflasche mit Druckminderer, angeschlossen über einen Kältemittelschlauch

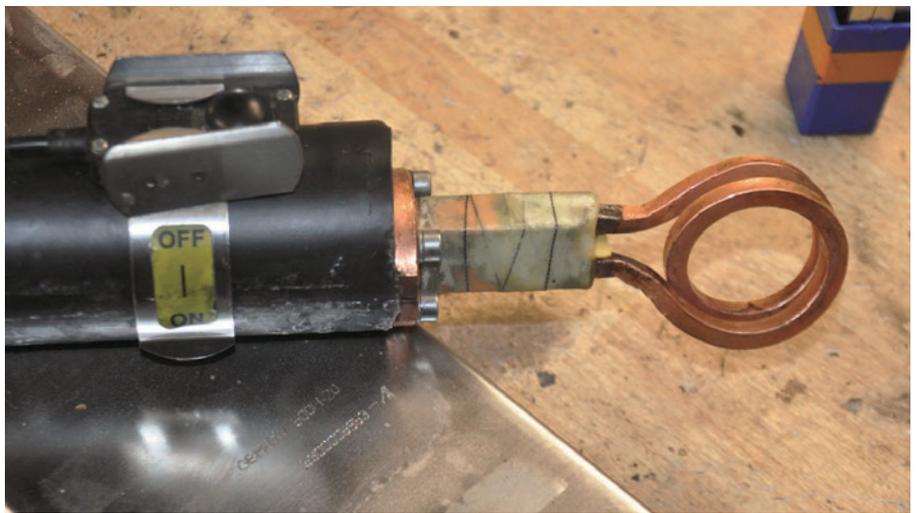
Dieses Flussmittel löst sich dann aber später im Betrieb nach längerer Zeit unter anderem durch Luftfeuchte auf, und man stellt teilweise erst nach einem Jahr ein ärgerliches Kältemittelleck fest.

In Summe war bei VauQuadrat zumindest für diese Art der Lötverbindungen aus folgenden Gründen eine Veränderung erwünscht:

- verbrauchte Lotmenge tagesformabhängig und sichtbar oft zu viel, was bei den Kosten für hochsilberhaltige Lote und der Silberpreisentwicklung problematisch ist;
- großer Reinigungsaufwand wegen der Flussmittelmenge, die nach der Lötung zäh anhaftet und zumindest mit warmem Wasser angelöst und danach mühsam mechanisch entfernt wird;
- wenn eine Lötstelle erkannt schiefliegt, ist abtragen und blankschleifen mit einem nicht korundhaltigen Schleifmittel erforderlich, um die Lötstelle neu fertigen zu können;
- handwerklich sehr anspruchsvolle Tätigkeit, die nicht jeder beherrscht;
- Abgasproblematik der Flamme am Arbeitsplatz (siehe TRGS 900);
- Lärm der Flamme im Umfeld des betreffenden Arbeitsplatzes problematisch;
- Gefahrenpotenzial durch Gasflaschen.



◀ Bild 8. Das Formiergas wird über einen Kugelhahn in passende Fittings gegenüber der geplanten Lötstelle geleitet. Besondere Dichtigkeit ist nach dem Kugelhahn nicht erforderlich.



▲ Bild 9. Der verwendete Ringinduktor mit zwei Windungen und einem Innendurchmesser von 35 mm

Anzeige



Natürlich auch zum Löten:
Das Split-Tiefeninduktions-
gerät VauQuadrat V7.
Auch als Doppelkopfanlage V7B.

Für geräuschfreies Löten.
Prozesssicher.

VauQuadrat



◀ Bild 10. Fertige Lötstelle zwischen Chromnickelstahl-Anschlussstutzen des Plattenwärmetauschers und einem Kupfer-Absatznippel

Formiergas 90/10 verwendet (Bild 7). Ein Strom von etwa 3 l/min wird am Druckminderer an der Entnahmestation eingestellt. Für die Verbindung zwischen Entnahmestelle und Adapter sind Kältemittelschläuche mit den handelsüblichen 7/16"-UNF-Anschlüssen im Einsatz, was schnelle und lecksichere Verbindung und Trennung ermöglicht. Ein kleiner Kugelhahn ermöglicht schnelles An- und Abstellen des Formiergasstroms (Bild 8).

Der erste Schritt besteht darin, in die Chromnickelstahlstutzen des Verdampfers entsprechende Kupfer-Absatznippel einzulöten. Bestimmt durch den Innendurchmesser der Stutzen kommt hier ein Fülldraht-Lotring „VQBraze 56“ mit 22 mm Innendurchmesser und einer Ringdicke von 2 mm zum Einsatz, gelötet mit einem Ringinduktor (Bild 9) mit einem Innendurchmesser von 35 mm und zwei Windungen bei 80% Leistungseinstellung. Das Ergebnis ist in Bild 10 zu sehen. Wohlgemerkt: So sehen alle diese Lötstellen aus.

Der Mitarbeiter entscheidet anhand des sichtbaren Lotbilds, ob kurze weitere Wärmestöße erforderlich sind. Die Tatsache, dass in der Wärmeanweisung (HPS) für diese Lötungen keinerlei Zeitvorgabe gegeben ist, liegt in diesem Fall an der Erfahrung und Sorgfalt des betreffenden Mitarbeiters. Es besteht keine Notwendigkeit, hier besonders einschränkend einzugreifen, solange das Ergebnis zu 100% ohne Nacharbeit passt. Bei den Kunden von VauQuadrat hingegen wird diese Art der Anwendung aber auch automatisiert und damit rein zeitgesteuert ausgeführt.

Entscheidender Vorteil des Verfahrens in diesem Fall: Es besteht keinerlei Gefahr, die tiefer liegenden Lötstellen im Plattenwärmetauscher unbeabsichtigt wieder zur lösen. Dies behält man risikofrei im Auge, indem die Ausbreitung der Anlauffarben auf dem Chromnickelstahl während der Serienlötungen beobachtet wird. Das Bild wird immer sehr ähnlich sein, solange sich an die Festlegungen der Wärmeanweisung gehalten wird.

Lötstellen an einem thermostatischen Expansionsventil

Ein thermostatisches Expansionsventil (Bild 11) ist ein in der Kältetechnik weitverbreitetes Regelorgan für die Anpassung des Kältemittelmassenstroms an die Notwendigkeiten. Dies geschieht mechanisch, „unintelligent“, indem eine Fühlerpatrone mit einer definierten

Mit Beginn des Projekts Eigenfertigung der Tiefeninduktionsgeräte im Jahr 2018 wurde eine grundlegende Untersuchung mit dem Ziel eingeleitet, alle Lötstellen am Kälte- und Kühlkreis der neuen „VauQuadrat V“-Serie mit Tiefeninduktion zu löten. Nach Versuchen mit diversen Loten kam es zu ersten Erfahrungen mit einem hoch silberhaltigen Fülldrahtlot. Dessen Beschaffung ist zwar durch lange Nachbeschaffungszeiten problematisch und nur durch den Aspekt erhöhter Bevorratungsmengen im Griff zu behalten, die Vorteile sind aber spektakulär.

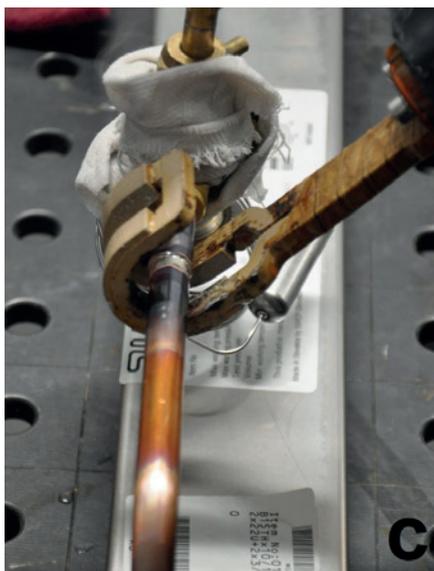
Lötstellen an einer Verdampferbaugruppe

Die Anwendung wird hier am Beispiel einiger Lötstellen an der Verdampferbaugruppe

im R455A-Kältekreis des Tiefeninduktionsgeräts „VauQuadrat V4“ gezeigt – das genau auch als Induktionsgerät für die Lötung mit dem Ringinduktor und dem „Hookyduktor“ verwendet wird (Bild 6). Eine Vorbereitung von Wärmetauscher und Lötfitting ist nicht erforderlich. Es wird ein „VQBraze 56“-Lotring auf den Absatznippel, dieser wiederum in den Chromnickelstahl-Lötstutzen des Wärmetauschers gesteckt. Die kleine Menge Flussmittel („CuFe Nr. 1“) am vorderen Ende ist eher langer Gewohnheit in der Kältetechnik als wirklicher Notwendigkeit geschuldet. An der Gegenstelle des betreffenden Kanals im Wärmetauscher wird über einen passenden Adapter ein geregelter Formiergasstrom eingeleitet. Beim VauQuadrat-Kältemaschinenbau wird hierfür



◀ Bild 11. Das zu verlötende thermostatische Expansionsventil: links die Lötstelle, unten die Fühlerpatrone an ihrer Kapillare, oben der Stutzen, in den die Ventildüse eingeschraubt wird



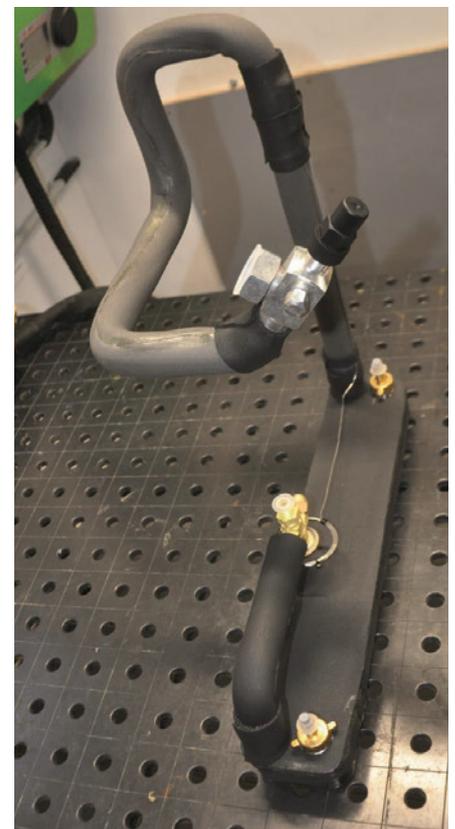
▲ Bild 12. Lotring und Expansionsventilgehäuse werden aufgesteckt (a), der Formiergasanschluss wird in die Gegenseite des Gehäuses gesteckt und zum Schutz mit einem nassen Lappen umwickelt (b), dann wird mit dem „Hookyduktor“ gelötet (c) und zum Schluss mit einem weiteren nassen Lappen abgeschreckt (d)

Gasfüllung thermisch an die Leitung gekoppelt wird, die aus dem Verdampfer herauskommt. Abhängig von der Temperatur an diesem Ort steigt der Druck in der Messleitung, und eine Membran im Expansionsventilgehäuse drückt einen Ventileinsatz weiter hinein. Das Expansionsventilgehäuse seinerseits wird in die Zuleitung des Verdampfers gelötet und sorgt letztendlich immer dafür, dass nicht mehr Kältemittel in den Verdampfer hineinströmt, als es in diesem sicher verdampft werden kann.

Die zu erzeugende Fugestelle ist eine Mischverbindung zwischen Kupfer (Rohr) und Messing (Expansionsventilgehäuse). Vom Werkstoffmix her ist das nichts „Aufregendes“. Das wäre sogar mit den kostengünstigeren „VQBraze 5“-Phosphorlotringen und etwas Flussmittel machbar. Der Nachteil wäre dann aber eine deutlich höhere Schmelztemperatur, jenseits 700°C, und die erhöhte Gefahr, dass im Innern des Ventilgehäuses Schaden entsteht. Deswegen sind auch hier die hoch silberhaltigen

„VQBraze 56“-Fülldrahtlotringe das Mittel der Wahl. Ein Ringinduktor kommt hier nicht in Frage, da dieser nach der Lötung quasi eingeschlossen und nicht mehr entnehmbar wäre – deswegen die offene Geometrie eines „Hookyduktor“. Bild 12 zeigt die Arbeitsschritte. Die Nacharbeit besteht im Entfernen von Anlauf-farben und den minimalen Flussmittelresten mit einem Reinigungsvlies sowie aus einer Sichtkontrolle auf offensichtlich nicht aufgeschmolzene Lotringstücke, Löcher oder sonstige Auffälligkeiten. Im Anschluss wird mit demselben Induktor am anderen Ende des Verdampfers ein Rotalockventil angelötet. Danach wird die Baugruppe abgepresst – bei erhöhtem Druck zeigt sich dann, dass alles dicht ist (Bild 13).

Dieser und weitere Arbeitsschritte sind als Videos zum Download abrufbar. Eins der Videos zeigt übrigens auch die Fühlertasche, die an der Verdampferaustrittsleitung induktiv weich angelötet wurde (Bild 14). Bei dem vielen Hartlöten fragt man sich natürlich, warum dort eine Lötung mit Lötzinne stattfindet: Weil das als Fühlertasche verwendete, aufgesägte Rohrstück sowohl nach dem Hartlöten



▲ Bild 13. Das „Gesamtkunstwerk“: die fertige Verdampferbaugruppe des Tiefeninduktionsgeräts „VauQuadrat V4“



◀ Bild 14.
Weichgelötete
Fühlertasche an der
Sauggasleitung für die
Fühlerpatrone des
thermostatischen
Expansionsventils
(Bilder: Vauderwange)

als auch nach einem Schweißprozess den Zustand wechselt. Es wäre nicht mehr wie gewünscht hart und federnd, sondern weich und biegsam.

Weitere Lötprozesse mit Fülldraht-, Phosphor- und Weichlot sind in den Videos zu finden, die sich über die im Kasten abgebildeten QR-Codes aufrufen lassen. Zu beachten ist, dass das leichte Strömgeräusch des Formiergases alles ist, was zu hören ist. Das ist realisierbar, wenn der Kaltwassersatz des Geräteunterteils außerhalb des Arbeitsraums untergebracht wird. ■



Dipl.-Ing. Thomas Vauderwange, MBA, SFI/IWE, Geschäftsführer, VauQuadrat GmbH, Offenburg, tv@vauquadrat.com

INFO

Videos zum Löten mit Tiefeninduktion

Um sich den Ablauf des Lötvorgangs besser vorstellen zu können, sind einige Videos im Internet mit Hilfe der hier abgebildeten QR-Codes abrufbar:



Vorbereitungslötung eines Rotalockventils mit Ringinduktor



Anschlusslötung am Plattenwärmetauscher mit Ringinduktor



Löten einer Trockner-Schauglas-Baugruppe mit Phosphorlotringen und „Hookyduktor“



Löten von Rotalockventil und Expansionsventil an Plattenwärmetauscher mit „Hookyduktor“



Weichlöten einer Fühlertasche an die Sauggasleitung