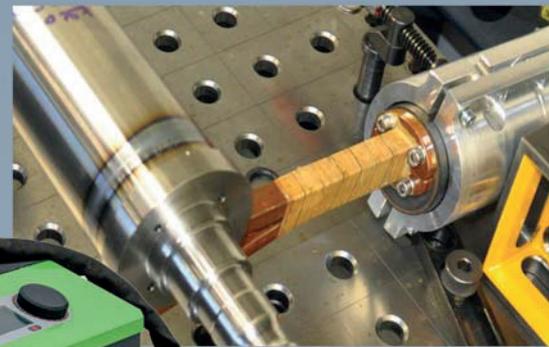


Das Magazin für Schweißtechnik und mehr

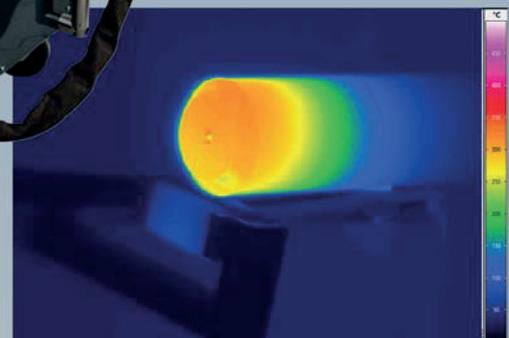
Schnell, prozesssicher, sogar automatisierbar:

Mischverbindung vorwärmen



Tiefeninduktion:

- Leistungsstark
- Energieeffizient
- Kaum Lärm
- Keine Blendung
- Reproduzierbar und risikoarm wärmen
- Keine unkontrollierbar davonlaufenden Oberflächentemperaturen
- Für MAG, WIG, Laser/Laserhybrid,...
- Ferrite, Austenite, Duplex, Vergütungsstähle,...



Schneller und reproduzierbarer vorwärmen:

Mechanisierte Vorwärmung von Mischverbindungen mit Tiefeninduktion

Seite 421

Wirtschaftlich und sicher schweißen:

Neue Perspektiven in der Qualitätssicherung beim Bolzenschweißen

Seite 428

1000 m auf einer Verlagerung:

Einbau einer Steigeleitung in einen Bergwerksschacht

Seite 434

MECHANISIERTE VORWÄRMUNG VON MISCHVERBINDUNGEN MIT TIEFENINDUKTION

Schneller und reproduzierbarer vorwärmen

Thomas Vauderwange, Offenburg

Schweißen von Mischverbindungen – das ist ein weites Feld. Aber während bei Schwarz-Weiß-Verbindungen von vorneher- ein aus dem Schaeffler-Diagramm erkennbar wird, dass sowohl betreffend des sich einstellenden Gefüges als auch betref- fend des Zusatzwerkstoffs – und damit auch des Wärmeregimes – extreme Vorsicht geboten ist, scheint das bei der Verbind- ung von zwei „schwarzen“ Stählen viel einfacher zu sein. – Weit gefehlt!



◀ Bild 1. In so einen Abbruchbagger „830E“ der Marke Sennebogen kommen die Zylinder zum Einsatz, deren Schweißvorgang in dieser Reportage beschrieben wird.

Als Mittelständler mit 125 Mitarbeitern im badischen Hausach im Kinzigtal ist die Hengstler Zylinder GmbH seit 2018 Teil der Sennebogen-Gruppe. Mit hoher Fertigungstiefe stellt das Unternehmen Hydraulikzylinder verschiedenster Größen und Anwendungsfelder im Durchmesserbereich von 50 mm bis 350 mm her.

Bei einem Hydraulikzylinder, wie er beispielsweise in einem Bagger verbaut ist, wird das Zylinderrohr für gewöhnlich aus einem „guten“ Baustahl gefertigt, während der sogenannte Zylinderboden, der das „Auge“ für den Befestigungsbolzen enthält, aus Gründen der Verschleißfestigkeit aus einem Vergütungsstahl besteht. Diese Reportage befasst sich mit dem Zylinder, der bei dem Sennebogen-Bagger „830E“ (Bild 1) zum Einsatz kommt. Der fertig grundrierte und montierte Zylinder ist in Bild 2 zu sehen. Genauer betrachtet wird die Schweißnaht zwischen Zylinderrohr und Zylinderboden (Bild 3).



▲ Bild 2. Fertig montierte und grundrierte Zylinder vor dem Versand bei dem Hydraulikzylinder-Hersteller Hengstler

Das Rohr mit dem Durchmesser 185 mm und der Wanddicke 17,5 mm besteht aus nahtlosem E355+SR nach DIN EN 10305-1 – angesichts der Wanddicke betreffend der Schweißung ein relativ problemloser Werkstoff. Interessant wird es hingegen bei dem als Bodenstück verwendeten Gesenk-Schmiedeteil. Dieses besteht aus 33MnCrB5-2+QT (Werkstoffnummer 1.7185), einem in der DIN EN 10083-3 beschriebenen, borlegierten Vergütungsstahl. Klar ist bei diesen Werkstoffen: Sobald man jenseits der Austenitisierungstemperatur war, muss die Abkühlung „langsam genug“

▼ Tabelle 1. Auszugsweise Zusammensetzung von Zylinderrohr (E355+SR) und Zylinderboden (33MnCrB5-2+QT)

Werkstoff	%C	%Mn	%Si	%Al	%Cr	%Mo	%Ni	%Cu	%V	%Ti	%B
E355	0,16	1,34	0,26	0,015	0,04	0,01	0,02	0,02	0,07	0,001	-
33MnCrB5	0,33	1,35	0,31	0,021	0,43		0,09				0,0035

erfolgen, sonst ist das resultierende Gefüge wesentlich zu hart und verfügt nicht über genügend Zähigkeit; beim Schweißen kann es dann zu Härterissen kommen. Die DIN EN 1011-2 gibt eine Anleitung vor, wie mit Hilfe ausreichender Vorwärmung ein Schutz gegen Härterisse erzielt werden kann.

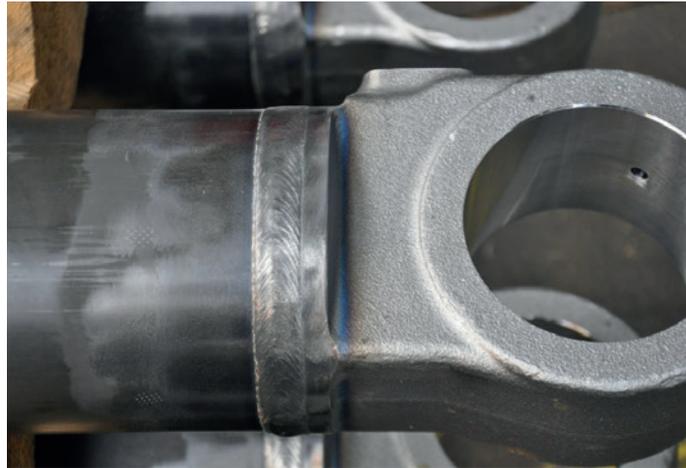
Die auszugsweise Zusammensetzung der beiden Werkstoffe zeigt (Tabelle 1). Bei beiden Werkstoffen ist selbstverständlich der Gehalt an Phosphor und Schwefel niedrig genug. Für den Vergütungsstahl kann nun mit der für Kohlenstoffgehalte über 0,18% anwendbaren Formel das Kohlenstoffäquivalent CE der DIN EN ISO 1011-2, Anhang C2.1, (auch bekannt als CEV) berechnet werden:

$$CE = C + Mn/6 + (Cu + Ni)/15 + (Cr + Mo + V)/5 = 0,33 + 0,225 + 0,003 + 0,086 = 0,644$$

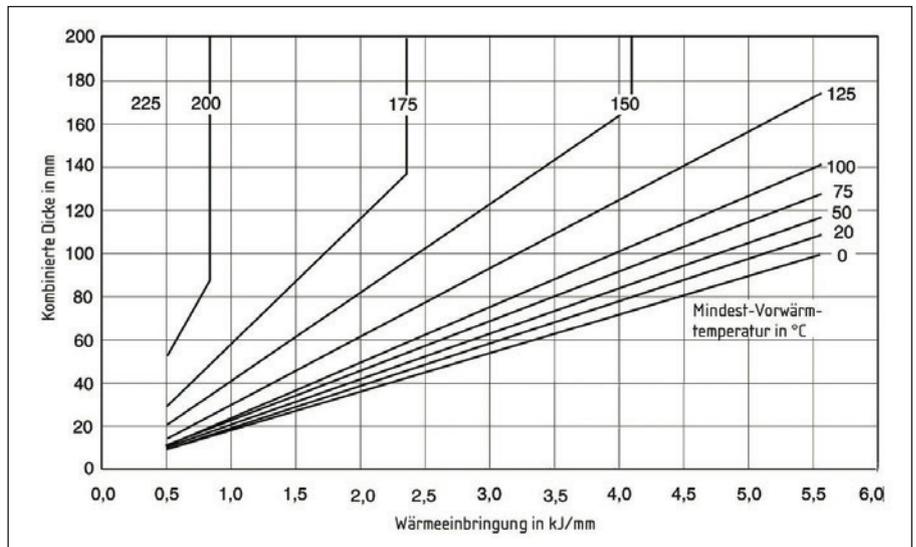
Damit und mit der Information, dass der Zusatzwerkstoff beim Metall-Aktivgas(MAG)-Schweißen einen relativ geringen Wasserstoffeintrag auslöst (Einteilung „D“ gemäß C.2.3.3), wird entschieden, das Diagramm C.2.k aus der DIN EN 1011-2 (Bild 4) zu verwenden. Die als Eingabeparameter geforderte Streckenenergie ergibt sich aus der Schweißanweisung von Hengstler zu 9,6 kJ/cm, also 0,96 kJ/mm. Hierbei ist bei den aufgelisteten insgesamt fünf einzubringenden MAG-Tandem-Lagen die Streckenenergie der Wurzellage zu verwenden.

Ebenfalls ist die kombinierte Dicke der beiden Schweißnahtflanken gefragt. In diesem Fall ist hierzu die Summe der Schweißnahthöhe ($a = 16,5 \text{ mm}$) und der „Unterlappung“ (5 mm) durch den Teil des Bodens zu bilden, der in das Rohr gesteckt wird. Insgesamt ergibt sich also eine kombinierte Dicke von 21,5 mm. Aus dem Diagramm wird damit eine Mindest-Vorwärmtemperatur von 100°C herausgelesen. In der Schweißanweisung wird daraus eine Temperaturforderung von 150°C für den massereicheren Zylinderboden und 80°C für das Zylinderrohrende.

Wie ist diese Temperaturangabe nun zu verstehen? Die Schweißung wird mit gebrauchstauglichen mechanisch-technologischen Eigenschaften gelingen, wenn nicht nur auf der Oberfläche des Werkstücks im Bereich der zu erzeugenden Lage, sondern auch im „Hinterland“, also speziell in den Zentimetern neben der Schweißnaht, mindestens



◀ Bild 3. Fertige MAG-Schweißnaht – links das Zylinderrohr, rechts der Zylinderboden mit dem „Auge“ für den Bolzen



▲ Bild 4. Eines der Diagramme aus der DIN EN 1011-2, das anhand des Kohlenstoffäquivalents und des Wasserstoffeintrags durch den Schweißzusatz ausgewählt wurde



◀ Bild 5. Mit so einem Ringbrenner, betrieben mit Acetylen und Sauerstoff, wurden die Rohrenden bei Hengstler in der Vergangenheit erwärmt.

diese Temperatur vorhanden ist. Die DIN EN ISO 13916 macht einen konkreten Umsetzungsvorschlag für die Messung der Vorwärmtemperatur. Dort wird der eigentliche Wärmeprozess (und speziell die währenddessen auf der Oberfläche entstehenden Temperaturen) komplett ausgeblendet. Das dort beschriebene Verfahren startet, wenn der Werker signalisiert, dass seiner Meinung nach vorgewärmt sei – bezogen auf eine Zone der vierfachen Werkstoffdicke rechts und links der zu erstellenden Schweißnaht.

Nun beginnt erst eine Pflicht-Wartezeit von 30 s. Die Absicht dahinter ist klar: Bei einem rein oberflächlich wirkenden Wärmeverfahren wie Flamme, Heißluft oder konventioneller Induktion, die sich auf reine Wärmeleitung auf dem Weg in den Werkstoff verlassen, entstehen an der Oberfläche schnell hohe Temperaturen. So ließe sich nach wenigen Sekunden schon zufrieden feststellen, dass 100°C erreicht sind. Wartet man aber kurz ab, lässt sich beobachten, wie die Temperatur schnell abfällt – besagtes „Hinterland“ ist nämlich noch kalt. Gemessen wird nach Norm in einem Abstand vom Vierfachen der Werkstoffdicke.

Tiefeninduktion macht den Unterschied

Die Firma Hengstler hatte für diese Anwendung bis 2020 die Kombination aus einem Ringbrenner (**Bild 5**) für die Rohrenden und einer Heizplatte (**Bild 6**) für die Zylinderböden im Einsatz. Beides sind oberflächlich wirkende Wärmeverfahren, sodass man um eine große Erwärmungszone, wie in der Norm beschrieben, schon aus Gründen der Prozesssicherheit nicht herum kam.

Hier setzt nun der Unterschied bei der von Hengstler inzwischen verwendeten Tiefeninduktion ein (**Bild 7** zeigt den Induktor, **Bild 14** das Komplettgerät mit Inverter und Kühlung). Dadurch, dass die Leistung nicht rein oberflächlich umgesetzt wird, wie die Literaturformeln zum Skineneffekt bei der verwendeten Frequenz von 15,8 kHz vermuten lassen würden, führen die eingebrachten 13 kW Induktionsleistung zu einer eher behäbigen Erwärmung an der Oberfläche und zu einer tiefer reichenden, primären Erwärmungszone. Beides führt dazu, dass sich mit zweimaliger Umdrehung des Rohrs am Induktor vorbei risikofrei genügend Wärme einbringen lässt, wie sich bei der Verfahrensqualifikation mit der resultierenden



◀ Bild 6. Langsam und energieaufwendig, aber auch mit so einer Herdplatte ist das Vorwärmen der Zylinderböden möglich.



◀ Bild 7. Induktor des Tiefeninduktionsgeräts



▲ Bild 8. Die verwendete, selbst gebaute Vorrichtung besteht aus einem verstellbaren, angetriebenen Rollenbock und einer Steuerung, mit der die Drehzahl vorgegeben und das Induktionsgerät angesteuert werden kann.



▲ Bild 9. Der Vorwärmstand aus der Bedienerperspektive; gut zu erkennen sind die Verstellmöglichkeiten, die eine Vorwärmung von Rohrgeometrien verschiedener Durchmesser und Längen ermöglichen.

Härte der Schweißnaht als einfacher Messgröße bestätigt hat.

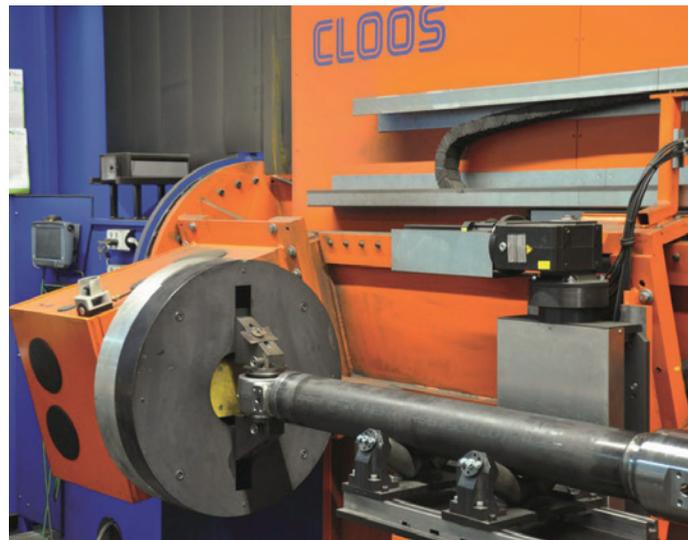
Als Vorrichtung, in der die Rohre vorgewärmt werden, wurde ein spezieller, verstellbarer Rollenbock mit Drehzahlsteuerung und einer kleinen Elektronik selbst gebaut (Bild 8 und 9), der über eine Schnittstelle auch das Tiefeninduktionsgerät steuert. Der Bediener legt mit Hilfe des Deckenkrans das Rohrteil in die Vorrichtung und betätigt den Startknopf. Nach Ende des automatischen Ablaufs ist genügend Wärme im Rohr, sodass nach dem Einlegen in den Schweißroboter (Bild 10) die Vorwärmtemperatur prozesssicher eingehalten werden kann.

Das Video, das über den QR-Code im Infokasten abrufbar ist, zeigt den Wärmevergange erst als Realbildvideo, dann zum Schluss als Wärmebildvideo. Vorsicht: Die Temperaturwiedergabe stimmt nur auf der Rohraußenseite. Auf der Innenseite „meint“ die Wärmebildkamera – Reflexionen und eine ganz andere Oberflächenstruktur mögen die Ursache sein – nur 30°C zu sehen, es sind aber auch dort deutlich über 100°C, wie die sofortige Messung mit Anlegefühlern zeigt (Bild 11). Dies ist einmal mehr der Hinweis, dass rein optische Temperaturerfassung niemals ohne Referenzierung mit einem Anlegefühler eine unabhängige Temperaturmessung erlaubt.

Entscheidendes Detail: Es ist sowohl optisch als auch aus der Wärmebilddaufnahme eindeutig zu erkennen, dass die

Oberflächentemperaturen zu keinem Zeitpunkt auch nur in die Nähe des Glutbereichs kommen. Zusammen mit der Durchwärmgeschwindigkeit (immerhin bei einer Werkstoffdicke von 17,5 mm) und der eingebrachten Induktionsleistung im Bereich von etwa 13 kW wird deutlich, dass die Leistung nicht rein oberflächlich eingebracht wurde.

Wer die existierenden Tiefeninduktionsanwendungen kennt, würde an dieser Stelle hinterfragen, ob nicht eine direkt vorlaufende Vorwärmung von Rohr und Boden in der Einspannung am Schweißroboter möglich wäre, wie sie an vielen anderen Stellen für ähnliche Werkstoffkombinationen im Einsatz ist. Antwort: Ja, das wäre aus der Perspektive der zu erzielenden Schweißnahtgüte prozesssicher möglich. Es macht jedoch aus dem Aspekt der zeitlichen Auslastung des Schweißroboters keinen Sinn. Die Schweißung der fünf Lagen ist der bestimmende Faktor. Damit gibt



◀ Bild 10. Das Zylinderrohr und der Zylinderboden in der Schweißroboteranlage, auf der Be-/Entladeseite eingespannt



◀ Bild 11. Temperaturmessung jeweils sofort zum Ende eines Wärmeprozesses mit einem Anlegefühler, einmal außen und einmal innen am Rohr



▲ Bild 12. Christian Seitz MBA, Produktionsleiter bei Hengstler

es in dieser Zeit entspannt die Möglichkeit, den Vorwärmprozess ablaufen zu lassen. Sehr wohl haben die Verantwortlichen bei Hengstler aber den Plan, die zwei Schweißungen an einem Zylinderrohr simultan ablaufen zu lassen.

Potenzial zu Produktivitäts- und Qualitätsverbesserung

Produktionsleiter Christian Seitz (Bild 12) kommentiert: „Als unsere große Roboteranlage in 2019 angeschafft wurde, hatten wir von dessen Hersteller den Tipp mit der Tiefeninduktion als prozesssichere, schnelle und



▲ Bild 13. Dipl.-Ing. (FH) (SFI) Thomas Armbruster, verantwortliche Schweißaufsichtsperson bei Hengstler



◀ Bild 14. Bei Hengstler ist das Tiefeninduktionsgerät „VauQuadrat V4“ mit bis zu 18 kW Induktionsleistung und nachgerüsteter Fernsteuerschnittstelle „RC20“ im Einsatz (Stromanschluss: 3 × 400 V/32 A (28 A) (Bilder: www.sennebogen.com (1), nach EN 1011-2:2001-05, S. 22 (4), VauQuadrat)

energiesparende Alternative zu anderen Wärmequellen bekommen und erstaunt festgestellt, dass die betreffenden Geräte von VauQuadrat am Ausgang des Kinzigtals, also in unmittelbarer Nähe, hergestellt werden. Da war zunächst große Skepsis, ob die Gerätetechnik dem automatisierten Einsatz standhält und ob ein reproduzierbares Ergebnis machbar ist. Deswegen wurden der Gesamtaufbau der Anlage und die nötigen Versuchsreihen abseits des Tagesgeschäfts in Form einer Bachelorarbeit in Kooperation mit der

Hochschule Offenburg erarbeitet – und zunächst nur ein erstes Gerät beschafft. Nach einem knappen Jahr der Nutzung wurden aber die Weichen gestellt, um mehr und mehr Anwendungen auf Tiefeninduktion umzustellen, da das Potenzial zu Produktivitäts- und Qualitätsverbesserung klar erkennbar wurde. Dass dabei quasi als Abfallprodukt noch die Lösung für ein langjähriges Problem, nämlich das Richten der Rundheit an den „Augen“ der Zylinderböden, abgefallen ist, was mit Tiefeninduktion hinreichend schnell und vor allem

Anzeige

Die Induktoren aus der VauQuadrat Induktormanufaktur sind in an den meisten Stellen geschweißt. Alle unsere Induktoren können bei Abnutzung oder Unfallschaden zum Pauschaltarif repariert werden. Sonderanfertigungen sind jederzeit möglich.

VauQuadrat

Video: Vorwärmung mit Tiefeninduktion

Um sich den Ablauf der Vorwärmung mit Tiefeninduktion besser vorstellen zu können, ist mit Hilfe des abgebildeten QR-Codes ein Video im Internet abrufbar. Dieses zeigt erst eine Realbildaufnahme aus zwei Perspektiven, dann ein Wärmebildvideo, das aber nur auf der Außenseite des Rohrs halbwegs verlässlich die Temperaturen wiedergibt.



letztendlich ohne Aufhärtungen funktioniert, war unerwartet und erfreulich – für uns ganz klar Faktoren zum Erhalt und Ausbau der Wettbewerbsfähigkeit.“

Und was meint die Schweißaufsicht zu dem Thema? Thomas Armbruster (**Bild 13**), Schweißfachingenieur und seit 2011 verantwortliche Schweißaufsichtsperson bei Hengstler, sieht es so: „Natürlich machen

die Mischverbindungen nicht die Mehrheit unserer Schweißaufgaben aus. Aber dort liegt ganz klar die große Herausforderung. Mit der Automatisierung des Schweißprozesses und der mechanisierten Vorwärmung sind wir da einen großen Schritt vorangekommen. Die höhere Prozesssicherheit kann man fast schon sehen. Früher hat man auf einer Palette mit 30 geschweißten Zylinderrohren an

der unterschiedlichen Ausbreitung der Anlauffarben erkennen können, dass die Gesamtenergie stark geschwankt haben muss. Das ist jetzt nicht mehr so – und die stichprobenhaften Härtemessungen bestätigen das. Dass es den Krach durch die Vorwärm-brenner in der Halle nicht mehr gibt, ist angenehmer Nebeneffekt. Aber in der Hauptsache geht es darum, dass die Vorwärmung mit der Tiefeninduktion deutlich schneller und reproduzierbarer geht, das hat man schon bei der ersten Vorführung sehen können. Und die eingebrachte Gesamtenergie ist auch wesentlich weniger: Wir brauchen keine so große Vorwärmzone mehr, und es gibt weniger Streuwärme in die Halle.“ Hengstler ist derzeit dabei, weitere Schweißroboter mit mechanisierter Vorwärmung durch Tiefeninduktion auszustatten. ■

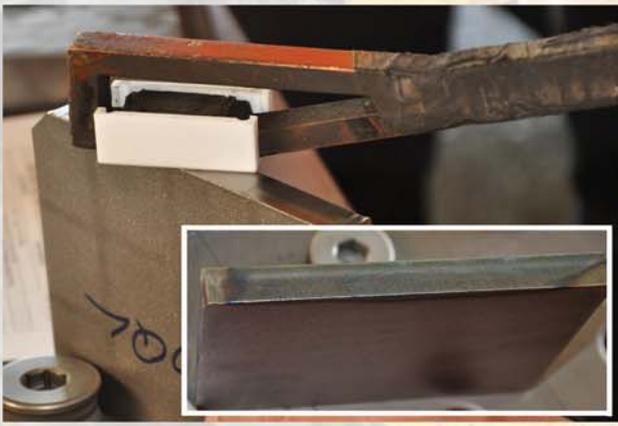


Dipl.-Ing. Thomas Vauderwange MBA (SFI/IWE), Geschäftsführer, VauQuadrat GmbH, Offenburg, tv@vauquadrat.com

Anzeige



Perfekt für mechanisiertes und automatisiertes Vorwärmen:
Das Split-Tiefeninduktions-
gerät VauQuadrat V7.
Auch als Doppelkopfanlage V7B.
Prozesssicher.



Anwendung: Schnittkanten enthärten

Das können Sie jetzt glauben oder auch nicht - wenn man mit dem Induktor ohne zu glühen zügig über eine aufgehärtete Zone fährt, sodass diese nur blau anläuft, ist die Härte vollständig auf das Niveau des Grundwerkstoffs reduziert. Kein sichtbares Glühen, die nötige Temperatur zur Auflösung des Martensit muss nur ganz kurz erreicht werden. Funktioniert an ferritischen Materialien, nachgewiesen an S235 - S690QL.



Anwendung: Demontage (und Montage) von Presspassungen. Blitzschnelle Temperaturunterschiede und die Vermeidung von Glühtemperaturen (alles, was glüht, schrumpft!) erlaubt schnellste und vor allem einfach zu reproduzierende Prozesse.



Ist das nun 'Rostauflösung' oder 'Demontage von korrodierten Verbindungen'? Lassen Sie sich beides vorführen und verstehen Sie den Unterschied zum Brenner!

Kontakt: VauQuadrat GmbH
Zum Großen Deich 46
D-77656 Offenburg

Tel. +49 (0) 781 968246-11
info@vauquadrat.com



Da müsste ein Irrtum vorliegen, meinen Sie, 'der heizt das falsche Teil' ? Nicht wirklich. Was mit der Flamme nicht, und mit Resonanz- oder Hochfrequenzinduktion nur schwer geht, ist mit Tiefeninduktion im Grunde ein Kinderspiel. Die Schraube (oder wie im Hintergrundbild gezeigt ein Baggerbolzen!) wird extrem schnell in der Tiefe aufgeheizt und drückt sich damit im Rost frei. Aber wehe Sie haben zu wenig Leistung oder keine Tiefenwirkung, dann passiert das selbe wie mit dem Brenner: NICHTS.

Geräte und technische Daten

VauQuadrat V4 Art.-Nr. 0.GY 004

bis 18kW Induktionsleistung
Netzanschluss 3x400V / 32A
Schlauchpaket 6m / 10m
Richten, vorwärmen, enthärten
bis ca. 80mm



VauQuadrat V6 Art.-Nr. 0.GY 005

bis 18kW Induktionsleistung mit
verstärkter Kältemaschine
Netzanschluss 3x400V / 32A
Schlauchpaket 6m / 10m
Für Richt- und Vorwärarbeiten an CrNi und Aluminium



VauQuadrat V3 Art.-Nr. 0.GY 003

bis 12kW Induktionsleistung
Netzanschluss 3x400V / 16A
Schlauchpaket 6m
Für Richt- und Vorwärarbeiten bis 5mm
sowie Demontage in LKW-/Landtechnik-/
Baumaschinen-/Güterwagenservice



VauQuadrat