

# elektro wärme international

Zeitschrift für elektrothermische Prozesse

## Induktive Längsnahtschweißanlagen in Rohr- und Profillinien

Inductive longitudinal-welding systems in pipe and section lines

Robert Jürgens, Dr.-Ing. Dirk Wohlfahrt, SMS Elotherm GmbH

**erschienen in elektrowärme international 2/2007**

Vulkan-Verlag GmbH, Essen

Ansprechpartner: Stephan Schalm, Telefon 0201/82002-12, E-Mail: s.schalm@vulkan-verlag.de

# Induktive Längsnahtschweißanlagen in Rohr- und Profillinien

## Inductive longitudinal-welding systems in pipe and section lines

Von Robert Jürgens, Dirk Wohlfahrt

Bei längsnahtgeschweißten Rohren und Rohrprofilen ist das induktive Schweißen das sicherlich wichtigste Fügeverfahren. Abhängig von Material, Rohrwanddicke und Rohrdurchmesser werden unterschiedliche Verfahrensparameter für die jeweilige Schweißaufgabe benötigt. Durch neue Bauteile der Elektro- und Elektronikindustrie konnten neue Anlagenkomponenten entwickelt werden. Die richtige Auswahl und Konfiguration aus der angebotenen Vielfalt der Frequenzgeneratoren und HF-Schwingkreise ist entscheidend für die Effizienz, Qualität und Wirtschaftlichkeit des Schweißprozesses.

Inductive welding is with certainty the most important joining method in production of longitudinally welded pipe. Differing process parameters are required for each particular welding task, depending on the material, pipe-wall thickness and pipe diameter involved. New components from the electrical and electronic industries have now made possible the development of new system elements. Correct selection and configuration of the large and diverse range of frequency generators and high-frequency resonant circuits available on the market are decisive for the efficiency, quality and economy of the welding process.

### Einleitung

Längsnahtgeschweißte Rohre und Rohrprofile sind in unserem täglichen Leben eine Selbstverständlichkeit geworden. Die Vielfalt der Formen zeigt aber auch, dass die längsnahtgeschweißten Teile ein bedeutender Wirtschaftsfaktor geworden sind und somit eine kontinuierliche technische Weiterentwicklung durch die Industrie besteht (Bild 1). Fensterprofile aus Aluminium, die in der Rohrlinie mit bis zu 200 m/min geschweißt werden, oder ferritische Stahlrohre mit einem Durchmesser von 610 mm und einer Wanddicke von 24 mm, die mit einer Geschwindigkeit von 8 m/min geschweißt werden, werden nach dem gleichen physikalischen Verfahren hergestellt.

Das induktive Längsnahtschweißen hat eine lange Entwicklung durchlaufen. Lange Zeit wurden als Energielieferanten für den Schweißprozess Hochfrequenz-Röhrengeneratoren eingesetzt. Seit Anfang der 90ziger Jahre werden

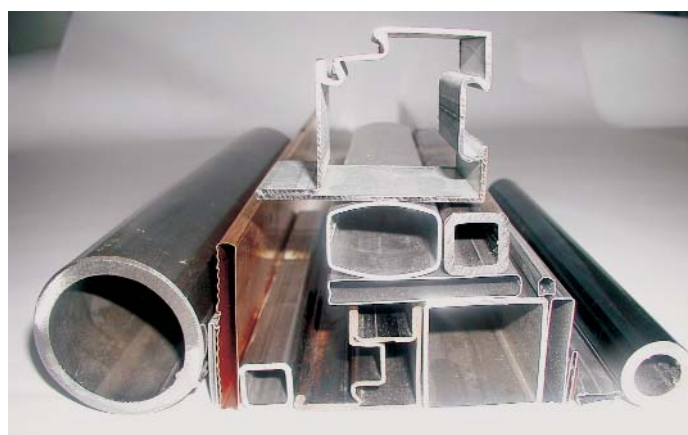
die Röhrengeneratoren durch statische Frequenzumrichter ersetzt. Durch den Einsatz von Frequenzumrichtern mussten auch Kondensatoreinheiten entwickelt werden, die die notwendige kapazitive Blindleistung bei niedrigen Spannungen bereitstellen konnten. Nachstehend werden die derzeitigen Generatorkonzepte und die dazugehörigen Kondensatoreinheiten vorgestellt.

Zunächst aber eine kurze Beschreibung des induktiven Längsnahtschweißprozesses.

### Der Schweißprozess

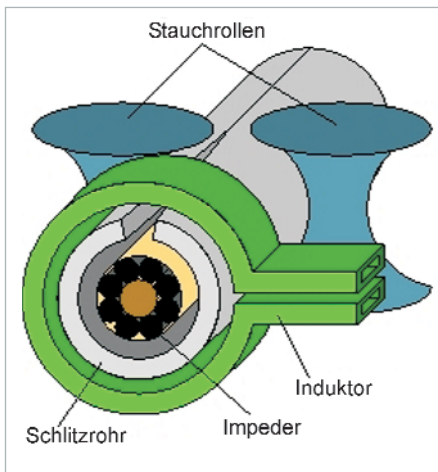
Die Wahl der richtigen Schweißparameter hängt wesentlich von der Bandgeschwindigkeit, der Banddicke, dem Material und dem Rohrdurchmesser ab. Bei dem induktiven Längsnahtschweißen wird der Schweißstrom mit einer Induktionsspule in ein fast geschlossenes Rohr induziert. Er fließt eine kurze Strecke entlang der Bandkanten und schließt sich im Kontaktpunkt (Stauchpunkt) im Bereich der Stauchrollen des jetzt geschlossenen Rohres (Bild 2).

Der induzierte Strom erwärmt die Bandkante bis auf Schmelztemperatur. Im Stauchpunkt sollte eine leichte Überhitzung bis in den schmelzflüssigen Bereich erfolgen. Ist die Überhitzung zu groß, so wird eine ungleichmäßige Gefügeausbildung im Nahtbereich die Schweißqualität beeinträchtigen. Eine zu geringe Bandkantentemperatur führt zu keiner Gefügebindung. Der Stauchdruck wird so bemessen, das ein Teil der Schmelze bzw. des teigigen Materials nach oben und unten aus dem Nahtbereich aus-



**Bild 1:** Unterschiedliche Formen längsnahtgeschweißter Profile

**Fig. 1:** Various longitudinally welded section geometries



**Bild 2:** Prinzipischnitten zum induktiven Längsnahtschweißen

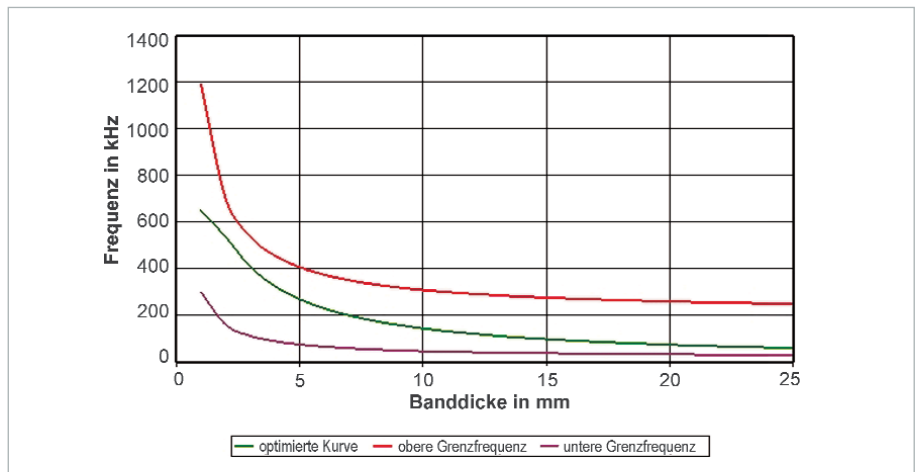
**Fig. 2:** Diagrams in principle illustrating the inductive longitudinal welding process

tritt. Das ausgepresste Material wird mit Außen- und Innenschaber direkt hinter den Stauchrollen vom Rohr abgeschabt.

Wie kann nun die Bandkanten- und die Schweißpunkttemperatur so gesteuert werden, dass banddicken- und rohrgeschwindigkeitsabhängig eine gleichbleibend gute Schweißqualität erzeugt wird?

Welche Masse muss im Bandkantenbereich auf Schmelztemperatur erwärmt werden, damit ein fehlerarmer Schweißprozess ermöglicht wird?

Eine zu kleine Schweißzone führt naturgemäß zu einem kleinen Prozessfenster bei der Rohrproduktion. Die Breite der Zone kann durch die Schweißstromfrequenz und Zeit gesteuert werden. Wird eine zu hohe Frequenz gewählt, so führt



**Bild 3:** Frequenz des Schweißstromes in Abhängigkeit der Banddicke

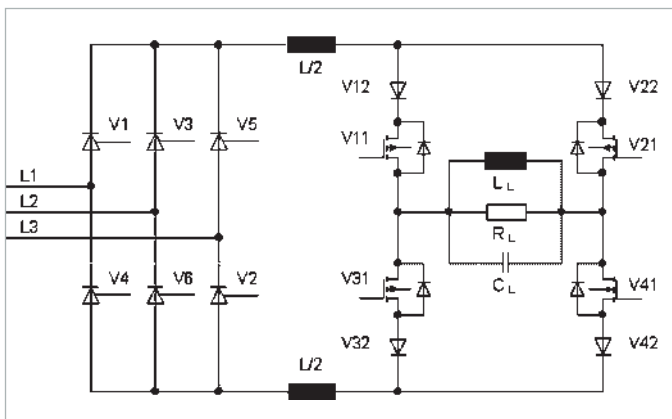
**Fig. 3:** Welding-current frequency as a function of strip thickness

dies an der Bandkante zur Überhitzung und Materialabschmelzung. Im **Bild 3** ist eine obere Frequenzgrenze dargestellt, ab der die Kante überhitzt wird. An der unteren Frequenzgrenze wird der erwärmte Bereich so groß, dass die Bandkante instabil wird und im Stauchpunkt nicht sicher geführt werden kann. Durch Simulationsrechnungen wurde eine optimierte Frequenzkurve ermittelt, die als Zielgröße für den Schweißprozess genutzt werden kann. Wanddickenabhängig lassen sich zwei Bereiche erkennen. Unterhalb einer Wanddicke von 4 mm steigt die erforderliche Schweißfrequenz steil an. Diesem Abmessungsbereich entspricht ein Frequenzbereich von ca. 200 kHz – 800 kHz. Dem Wanddickenbereich > 4 mm entspricht ein Frequenzbereich von 50 kHz bis 200 kHz.

### Moderne Umrichtertechnik

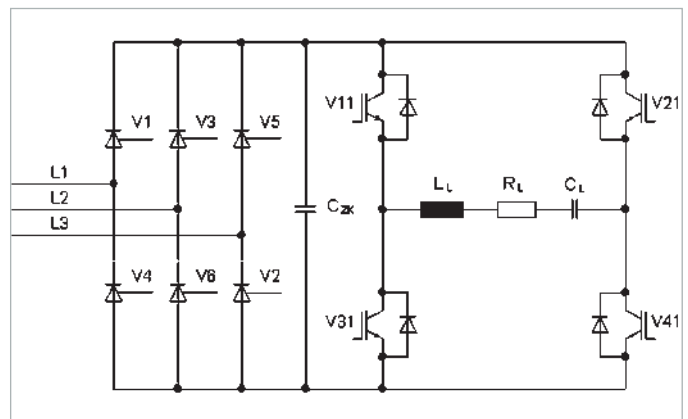
Heutzutage werden die beiden Frequenzbereiche von 2 Frequenzumrichterarten abgedeckt. IGBT Umrichter arbeiten effizient bis zu einer Frequenz von 200 kHz. MOS-FET Umrichter arbeiten effizient von 150 kHz bis ca. 700 kHz. Bei der SMS-ELOTHERM werden MOS-FET Umrichter als Parallelschwingkreisumrichter betrieben. Im Prinzipschaltbild (**Bild 4**) sind die wesentlichen Baugruppen, gesteuertes Gleichrichter, Zwischenkreisdrossel und MOS-FET Wechselrichter, dargestellt.

Ausgangsleistungen dieses Umrichtertyps sind von 110 kW bis zu 700 kW verfügbar. Der Frequenzbereich ist konfigurierbar und reicht von 50 kHz bis zu 600 kHz. Für größere Leistungen wur-



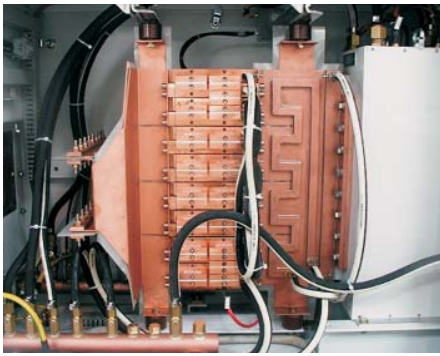
**Bild 4:** Prinzipschaltbild des Parallelschwingkreisumrichters mit MOS-FET Wechselrichter

**Fig. 4:** Circuit diagram in principle of parallel resonant-circuit converter with MOSFET inverter



**Bild 5:** Prinzipschaltbild des Serienschwingkreisumrichters mit IGBT Wechselrichter

**Fig. 5:** Circuit diagram in principle of series resonant-circuit converter with IGBT inverter



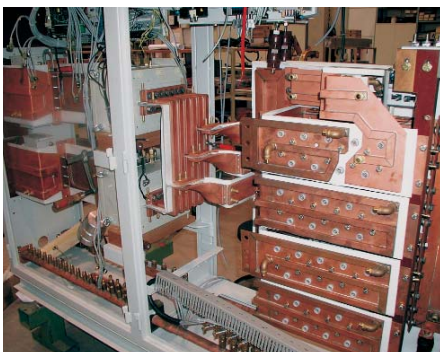
**Bild 6:** Kondensatoreinheit für hohe Frequenzen bis 600 kHz mit Ausgangstransformator als Parallelschwingkreis aufgebaut

**Fig. 6:** Capacitor unit for high frequencies up to 600 kHz with output transformer

den von der SMS-ELOTHERM GmbH IGBT Umrichter entwickelt. Diese sind als Serienschwingkreisumrichter konzipiert worden (**Bild 5**). Hier sind die wesentlichen Baugruppen: der gesteuerte Gleichrichter, der kapazitive Zwischenkreis und der IGBT Wechselrichter. Ausgangsleistungen für diesen HF-Frequenzumrichtertyps sind von 600 kW bis 2400 kW verfügbar. Dieser Umrichtertyp kann mit Frequenzen von bis zu 200 kHz betrieben werden. Durch die beiden Umrichtertypen kann der Markt für alle Profilformen, die längsnahtgeschweißt werden, bedient werden.

## Kompakte HF-Schwingkreise

Frequenzumrichter versorgen die Schwingkreise in den Schweißlinien nur mit Wirkleistung. Die Blindleistung für den induktiven Verbraucher (beim Längsnahtschweißen die Induktor-



**Bild 7:** Kondensatoreinheit für hohe Leistungen bis 25000 kvar mit Eingangsschalttransformator zur Leistungsanpassung (während der Fertigung)

**Fig. 7:** Capacitor unit for high power-ratings up to 25000 kvar with input circuit transformer for power adjustment (during production)

Werkstückanordnung) wird durch viele parallel geschaltete Kondensatoren erzeugt. Die Kondensatoreinheit kann parallel zur Induktivität (Induktor), oder seriell zu dieser liegen. Die parallele und die serielle Anordnung führt zur Parallel bzw. Serienresonanz, wenn die kapazitive und die induktive Leistung gleich groß sind. Dies ist der Fall wenn die Resonanzbedingungen

$$j\omega L I^2 = \frac{1}{j\omega C} I^2 \quad (1)$$

oder

$$j\omega C U^2 = \frac{1}{j\omega L} U^2 \quad (2)$$

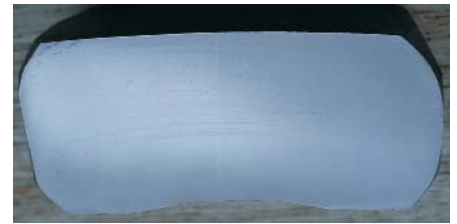
erfüllt sind.

Im Parallelschwingkreis ist die Spannung an der Kondensatoreinheit und Induktivität gleich. Im Resonanzfall wird der Strom überhöht. Man spricht daher auch von einer Stromresonanz. Damit am Induktor aber eine genügend hohe Spannung ansteht, die den Strom treibt, wird in den meisten Fällen im Parallelschwingkreis ein Transformator zur Leistungsanpassung eingesetzt. Diese Transformatoren waren früher Lufttransformatoren. Heutzutage werden Ferritkerntransformatoren eingesetzt. Der Aufbau einer modernen Kondensatoreinheit mit Ausgangstransformator für einen Parallelschwingkreis ist in **Bild 6** dargestellt.

Im Serienschwingkreis wird der Strom eingepreßt. Es wird also im Resonanzfall die Spannung überhöht. Daher werden die Bauteile auf Spannungsfestigkeit ausgelegt. Die Schwingkreisleistung wird über den Strom gesteuert, der durch die Bauteile fließt. Auch hier wird oft ein Transformator zur Leistungsanpassung an den Umrichter eingesetzt. **Bild 7** zeigt eine moderne Kondensatoreinheit mit Eingangstransformator für einen Serienschwingkreis während des Fertigungsprozesses.

## Prozesssteuerung

In die heutigen Anlagensteuerungen sind Algorithmen integriert, die eine nahezu automatische fahrweise der Längsnahtschweißanlagen ermöglichen. Hierzu gehören Anfahrprogramme, die geschwindigkeitsabhängig die Schweißleistung steuern und damit dem Schweißprozess die jeweils richtige



**Bild 8:** Schweißnaht eines längsnahtgeschweißten Rohres mit anschließender Doppelglühung (Schliff zur Darstellung der Ferritlinie geätzt)

**Fig. 8:** Weld on a longitudinally welded pipe with subsequent double-annealing (microsection etched in order to show the ferrite line)

Energie zuführen. Warn- oder Alarmmeldungen werden im Bedienpanel der Steuerung eingeblendet, damit der Bediener sofort die notwendigen Maßnahmen für die Störungsbeseitigung einleiten kann. Eine Speicherung der gefahrenen Prozessdaten in einer integrierten Prozessdatenverwaltung reduziert mögliche Bedienungsfehler.

## Fazit

Mit modernen induktiven Längsnahtschweißanlagen ist der Anlagenbetreiber in der Lage wanddickenabhängig mit der jeweils für seinen Schweißprozess optimierten Arbeitsfrequenz zu Schweißen. Bei richtiger Auswahl der Anlagenkomponenten wird eine Schweißung erzielt, die sowohl eine hohe Schweißqualität als auch wirtschaftlich günstig ist. Im **Bild 8** ist der Schliff eines dickwandigen längsnahtgeschweißten Rohres im Nahtbereich dargestellt. An der schwachen Ausbildung der Ferritlinie ist die gute Schweißqualität zu erkennen.

**Robert Jürens**  
SMS Elotherm GmbH



Tel.: 02191 / 891-0  
r.juerens@sms-elotherm.de

**Dr.-Ing. Dirk Wolfahrt**  
SMS Elotherm GmbH



Tel.: 02191 / 891-527  
d.wolfahrt@sms-elotherm.de