

# Untersuchung der Besonderheiten beim Rollennahtschweißen großer Längen Impedanz

Dipl.- Ing. Björnstjerne Zindler, M.Sc.

[www.Zenithpoint.de](http://www.Zenithpoint.de)

Erstellt: 23. März 1996 – Letzte Revision: 16. November 2017

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Impedanz</b>	<b>2</b>
----------	-----------------	----------

---

## Literatur

- [002] Dipl.- Ing. Björnstjerne Zindler, M.Sc., Untersuchung der Besonderheiten beim Rollennahtschweißen großer Längen, Diplomarbeit, 1996.
-

[002]

# 1 Impedanz

## 7. Wärme im Sekundärkreis

### 7.1 Entstehung

Wärme in der Maschine, speziell im Sekundärkreis, stellt ein Verlust dar, welcher durch vermehrte Energiezufuhr im Primärstromkreis kompensiert werden muss.

Grundsätzlich müssen zwei „Verbraucher“ auf der Sekundärseite betrachtet werden:

- Ohmsche Lasten  $R$
- Induktive Lasten  $X_L$

Die ohmsche Last setzt sich aus Stoff- und Kontaktwiderstand zusammen und lassen sich in Größenordnungen gut beherrschen.

Die induktiven Lasten stellen einen unerwünschten Nebeneffekt dar, der schlecht zu beherrschen und zu beschreiben ist. Im Allgemeinen stellt der Sekundärstromkreis eine Spule mit einer Windung, jedoch enormer induktiv wirksamer Fläche dar. Die Ströme und Frequenzen, welche beim Widerstandsschweißen gewöhnlich auftreten, tragen dann zu den Verlusten bei, die nicht mehr zu vernachlässigen sind. Einerseits durch den Mehrverbrauch an elektrischer Energie, andererseits durch die Maßnahmen für die Kühlung bis hin zu Produktionsstillständen in erzwungenen Abkühlpausen der Maschine.

## 7.2 Physikalische Struktur der Sekundärimpedanz

Letztendlich fallen die Wärmeverluste an den oben beschriebenen Lasten an. Daher ist es sinnvoll diese kurz physikalisch zu betrachten.

Will man alle relevanten ohmschen und induktiven Lasten zusammenfassen und ein Ersatzschaltbild nutzen, so ergibt sich eine Reihenschaltung beider Lasten.



Bild 7.1: Ersatzschaltbild der Sekundärimpedanz.

Die Berechnungsgrundlage für den effektiv wirksamen Widerstand  $Z$ :

$$\underline{Z} = R + j \cdot X_L = R + j \cdot \omega \cdot L$$

$\Rightarrow$

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega \cdot L)^2}$$

Da der Wert für  $L$  hier unbekannt ist, wird er ersetzt.

$$U = L \cdot \frac{dI}{dt}$$

$\Rightarrow$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left( \omega \cdot U \cdot \frac{dt}{dI} \right)^2}$$

Ziel ist es, die Impedanz  $Z$  rein ohmsch  $Z = R$  werden zu lassen.

### 7.3 Elimination der induktiven Last

#### 7.3.1 Theoretische Bedingungen

Das Ziel, die Verringerung der Verluste und somit letztendlich der Wärme erfolgt über das Eliminieren der induktiven Last.

Im Optimalfall muss dann gelten:

$$X_L = j \cdot \omega \cdot L = 0$$

⇒

$$\omega \cdot U \cdot \frac{dt}{dI} = 2\pi \cdot f \cdot U \cdot \frac{dt}{dI} = 0$$

Physikalische Größe	Praktische Bedeutung	Realisierbarkeit
$f = 0$	Schweißfrequenz	Gleichspannungsschweißen
$U = 0$	Schweißspannung	nicht möglich
$dt = 0$	Wellenform	gut beeinflussbar
$dI \approx \infty$	Schweißstrom	begrenzt möglich

#### 7.3.2 Praktische Bedeutung

Für die physikalischen Größen  $dt$  und  $dI$  sind enge technologische Grenzen gesetzt. Dadurch fällt die Mehrzahl der interessanten Wellenformen als Möglichkeit heraus. Grundsätzlich technologisch bleiben nur zwei Wellenformen als Option:

- sinusähnliche Wellenformen
- rechteckähnliche Wellenformen

## 7. 4 Schweißstromquellen unter dem Gesichtspunkt der Impedanzverlustminimierung

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Schweißstromquellen für das Rollennahtschweißen kurz beschrieben.

Aus der ingenieurwissenschaftlichen Literatur sind Rollenschweißmaschinen mit unterschiedlichen Schweißstromquellen unter Verwendung verschiedener Stromarten bekannt.

- Gleichstrom (DC)
- Mischstrom (DC + AC)
- Mittelfrequenter Wechselstrom (MF)
- Hochfrequenter Wechselstrom (HF)
- Niederfrequenter, rechteckförmiger Wechselstrom (LF)

### 7. 4. 1 Gleichstrom

- Vorteile:
  - praktisch keine Wirbelstrom- und Hysteresisverluste in der Schweißmaschine
- Nachteile:
  - erhöhte Gefahr der Lichtbogenbildung
  - hohe Stromventilverluste
  - technologische Schwierigkeiten der Nahtqualität

### 7. 4. 2 Mischstrom

Der Grundgedanke besteht darin, einen Gleichstrom über die Elektroden zu leiten, der das Schweißgut bis unterhalb seines Schmelzpunktes erhitzt. Dem Gleichstrom wird ein Wechselstrom überlagert, dieser kann rechteck- oder sinusförmig sein. Wesentlich dabei ist, dass der AC- Effektivwert maximal 30% vom Gesamteffektivwert des Schweißstroms beträgt.

### 7. 4. 3 Mittelfrequenter Wechselstrom

Ausgangspunkt für die Entwicklung der Schweißstromquellen war die Forderung nach höheren Schweißgeschwindigkeiten. Mit netzfrequentem Wechselstrom sind je nach Qualitätsansprüchen an die Schweißnaht nur maximal 6 bis 10 m/Minute erreichbar. Hauptnachteil der Verwendung von MF- Strom sind die hohen Wirbelstromverluste in der Maschine.

Weitere Eigenschaften lassen sich nur unter der Berücksichtigung der konkreten MF- Stromquelle ableiten. Entsprechend der praktischen Bedeutung kommen rotatorische bzw. statische Umrichter in Frage. Frequenzvervielfacher auf magnetischem Funktionsprinzip spielen heute keine Rolle mehr.

### 7. 4. 4 Hochfrequenter Wechselstrom

Der HF- Strom hat für das Rollennahtschweißen (noch) keine praktische Bedeutung.

Die obere nutzbare Frequenz des Schweißstromes wird von folgenden Faktoren bestimmt:

- Wirbelstrom- und Hysteresisverluste in der Schweißmaschine
- Blindleistungsbedarf im Lastkreis
- Gesamtwirkungsgrad der Schweißmaschine

Durch den Einsatz von speziellen Schweißtransformatoren, welche unmittelbar auf der Elektrodenwelle angeordnet sind und mit dieser rotieren, lässt sich die obere Frequenzgrenze erhöhen. Praktisch sind mit dieser Maßnahme Frequenzen bis 5kHz beherrschbar. Näheres ist unter Patentnummer (BRD) 2406693 , Anmeldetag 13.02.1974 zu finden.

Der Einsatz dieser Technik bringt Nachteile mit sich:

- teurer Spezialtransformator mit hohem Übersetzungsverhältnis
- Verwendung geteilter, einseitiger Rollenelektroden.

#### 7. 4. 5 Rechteckförmiger Wechselstrom

Der Hauptnachteil des MF- Schweißstromes besteht in der Erzeugung hoher  $dI/dt$ - Werte während der Reversierphase des Stromes in der induktiven Last. Die induktive Zeitkonstante praktisch realisierter Rollennahtschweißanlagen liegt bei etwa 0,7 bis 1,5ms. Für die maximale Schweißgeschwindigkeit von 60m/Minute muss die Zeitdauer für einen Reversiervorgang deutlich unter 1ms liegen, damit keine Wärmeeinbrüche im Nahtverlauf entstehen.

In der Literatur sind viele Veröffentlichungen zu diesem Problem zu finden. Leider sind die meisten der aufgezeigten Lösungsvorschläge nicht praktikabel. Für weitergehende Informationen sei auf die Dissertation von Thomas Klärner „Mittel- und Niederfrequenztechnik für das Rollennahtschweißen bei dünnen Blechen“ hingewiesen, sowie die dort enthaltenen Literaturempfehlungen.

L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 2<sub>ε</sub>