

eldec Schwenk Induction GmbH

Sonderdruck aus

EuroWire

THE UNIQUE MAGAZIN FOR THE EUROPEAN WIRE & CABLE INDUSTRY
Januar/2003, D7 – D9

Hans-Joachim Peter

Einsatz der Induktionserwärmung im Elektromaschinenbau

Einsatz der Induktionserwärmung im Elektromaschinenbau

Von Dipl.-Ing. Hans-Joachim Peter
eldec Schwenk Induction GmbH - Deutschland

Einleitung

Mittels der induktiven Erwärmung kann im Elektromaschinenbau eine Reihe von Verbindungen, sei es Löten (Hart- oder Weichlöten) oder Schrumpfen, rationell und in hoher Qualität durchgeführt werden.

Bei Lötverbindungen handelt es sich gewöhnlich um Verbindungen von Kupferleitern verschiedenster Querschnitte, die meist hartgelötet werden, in eher seltenen Fällen weich.

So werden in der Praxis mit unterschiedlichen Wärmequellen Stoß- oder Überlappverbindungen gelötet, die je nach Leistungsdichte des eingesetzten Verfahrens mehr oder weniger zufriedenstellend sind.

Weniger zufriedenstellend, wenn die Leistungsdichte relativ gering ist (z.B. Flamme), sehr zufriedenstellend bei hoher Leistungsdichte (Induktionserwärmung).

Dabei kann man davon ausgehen, dass mit der induktiven Erwärmung gegenüber der Flammerwärmung eine ca. 15 mal höhere Flächenleistung erreichbar ist.

Neben der induktiven Erwärmung wird auch die Widerstandserwärmung eingesetzt, bei der die Lötteile zwischen speziellen Kohleelektroden gespannt werden.

Die Energieübertragung wird hier also über Kontakte realisiert im Gegensatz zur Induktionserwärmung, bei der die Energie kontaktlos übertragen wird und dadurch auch flexibler in der Anwendung ist^[1].

Warum ist also eine höhere Leistungsdichte besser?

Die Frage ist einfach zu beantworten. Kupfer ist nicht nur ein guter elektrischer Leiter, sondern gleichzeitig auch ein guter Wärmeleiter.

Das bedeutet, dass bei der Zuführung der zum Löten erforderlichen Wärme, diese nicht nur an der Lötstelle verbleibt, sondern von der Lötstelle massiv wegfließt. Es muss also mehr Wärme zugeführt werden als wegfließen kann, um an der Lötstelle überhaupt die erforderliche hohe Löttemperatur zu erzeugen.

Es muss demnach ein möglichst großer Wärmestau angestrebt werden, der aber nur bei einer hohen Leistungsdichte erreicht werden kann. Bei einer geringen Leistungsdichte ist nicht nur ein unnötiger Verlust an Wärme zu verzeichnen, weil die wegfließende Wärme ja verloren geht, sondern auch die partielle Zerstörung der u. U. bis nahe an die Lötstelle herangeführten Isolierung.

Die Induktionserwärmung hat sich deshalb aus den genannten Gründen in vielen Bereichen des Elektromaschinenbaus als Lötverfahren durchgesetzt.

▼ **Bild 1:** Lötpestole im Einsatz beim Löten von Kupferflachdrähten. Die mit Lot bestückten überlappenden Drähte werden durch eine erste Schalterstellung zunächst an den isolierten Induktor gedrückt. Anschließend wird durch eine weitere Schaltung der Generator (z.B. eldec MFG 10) gestartet. Eine dritte Schalterstellung schließlich gibt die gelötete Verbindung frei



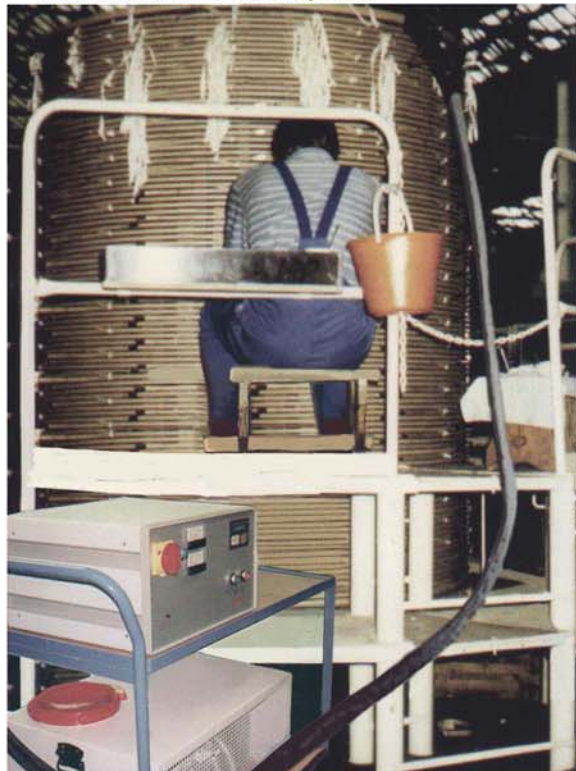


▲ **Bild 2:** Vorbereiten der Lötstelle mittels einer kleinen Spannvorrichtung. Die Kupferdrähte werden auf Stoß ausgerichtet und die Lotfolie zwischen die Drahtenden geklemmt

Dabei sind die Anlagen der unteren Leistungsklasse 5kW bis 15kW (eldec MFG 5 bis eldec MFG 15) besonders für die Überlappverbindung von Kupferflachdrähten gefragt, wobei sich hier der Einsatz einer speziellen Lötpestole lohnt.

Im *Bild 1* ist der Einsatz dieses praktischen, einfach zu bedienenden Geräts zu sehen. Die für das Löten vorbereiteten Drähte werden zuvor mit einer Lotfolie aus einer CuAgP-Legierung bestückt und in der Lötpestole, die mittels pneumatisch betätigten Gegenhalter die zu lötenen Kupferflachdrähte zusammendrückt, gelötet. Lötzeit ca. 3 - 4s.

▼ **Bild 3:** Transformatorspule mit ca. 2400 zu verlötenden Stumpfstoßverbindungen. Links unten der MFG 10 mit darunter befindlicher Kühlwasserrückkühlanlage auf einem Wagen aufgebaut. Der am Koaxtrafo befestigte Induktor ist mit dem Generator über ein 10m langes Kabel verbunden und hängt während der Vorbereitung der Lötstelle oben am zu lötenden Transformator



Durch die möglichen kurzen Lötzeiten kann die Isolierung bis nahe an der Lötstelle verbleiben. Aber nicht nur bei Überlappverbindungen ist das Induktionslöten ideal einsetzbar, sondern auch bei Stoßverbindungen, beispielsweise bei Wickeldrahtverbindungen im Großtransformatorenbau.

An die Fügstellen der Wicklungselemente werden höchste Qualitätsansprüche gestellt, die aus mehreren Gründen nur die induktive Erwärmungsmethode erfüllen kann; sei es die Begrenzung der Löttemperatur an der Lötstelle oder die Zugänglichkeit zur Lötstelle schlechthin.



▲ **Bild 4:** Löten der auf Stumpfstoß vorbereiteten Kupferdrähte mit anliegendem Induktor in 2 bis 3s

Durch die leichte Handführung des Werkzeugs, des Induktors bzw.

Induktionsspule, auch an großen Wicklungsabmessungen ist der Einsatzspielraum vergleichsweise groß. Als Beispiel soll das Löten von Wickeldrahtverbindungen an einer Transformatorspule der Leistungsgröße 200MVA mit einem Durchmesser von 2000mm und der Länge von 2500mm dienen.

Es werden im Stumpfstoß ca. 2400 Verbindungsstellen, die aus mit Kabelpapier isolierten Kupferdraht 12,5 x 2,5mm bestehen, gelötet.

Das Kabelpapier wird etwa 40mm abgewickelt und der Stumpfstoß mit der Lotzwischenlage vorbereitet (*Bild 2*).

Als Lot wird ein Folienteil 0,5 x 3 x 15mm aus selbstfließendem Lot L Ag 15P (Schmelzbereich 650 - 800°C) verwendet.

Zum Einsatz gelangt hier eine Induktions-erwärmungsanlage Typ eldec MFG 10 mit einer Leistung von 10kW (*links unten im Bild 3*). Die Anlage mit autarkem Kühlgerät ist mobil aufgebaut und kann deshalb schnell an einem anderen Arbeitsplatz zum Einsatz kommen. Der Induktor mit Koaxialtransformator ist mit einem bis zu 10m langen Kabel mit der Anlage verbunden und hängt im Bild oben am Transformator. Beim Löten wird der isolierte Induktor direkt auf die vorbereitete Lötstelle angelegt, *Bild 4*. Der Lötvorgang dauert 2 bis 3s.

Beim Einsatz der induktiven Erwärmung beispielsweise beim Löten von massiven Verbindungen im Schleifringläuferbau wird nach dem Vorbereiten der Lötstelle der zuvor an einem Balancer aufgehängte Induktor/Koaxialtrafo in Position zur Lötstelle gebracht.

Der Induktor kann je nach zu lötender Werkstückgeometrie wie bei allen Anlagen leicht ausgewechselt werden.

Dieser Koaxtrafo mit Lötinduktor ist dabei mit der mobilen Induktions-erwärmungsanlage ebenfalls mit einem bis zu 10m langen Kabel verbunden.



▲ **Bild 5:** Löten von Kupferverbindungen an einem Schleifringläufer. Links unten im Bild die Induktionserwärmungsanlage eldec MFG 50, dahinter eine bewegliche Kabelaufnahme (Galgen) mit Balancer, an dem das Werkzeug (Lötinduktor mit Koaxtrafo) hängt. Nach Vorbereitung der Lötstelle wird der isolierte Lötinduktor auf die zu lötenden Kupferleitungen gedrückt und durch Auslösen des Startimpulses am Koaxtrafo der Lötprozess gestartet

Im *Bild 5* ist der Einsatz dieser mobilen Lötteinrichtung, die meist mit einer Generatorleistung von 20 bis 150kW versehen werden kann, zu sehen. Im Bild ein eldec MFG 30 mit 30kW Leistung. Die Wirkung der hohen Leistungsdichte mit entsprechend hohem Wärmestau

beim Löten von derartigen Kupferverbindungen veranschaulicht überzeugend *Bild 6*.

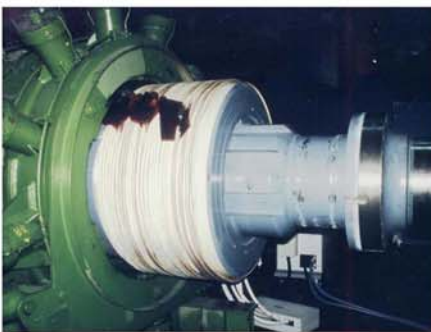
Eine Lötverbindung, bei der nur eine thermisch leicht beschädigte Isolierung zu sehen ist, die aber auch bis unmittelbar an die Lötverbindung heranreicht.

Um beim Löten möglichst alle Kurzschlussstäbe gleichzeitig in den Kurzschlussring eines Kurzschlussläufers zu verlöten, ist eine vergleichsweise hohe Leistung erforderlich, soll sich doch die entstehende Wärme möglichst im Lötbereich stauen und nicht in den Läufer über die Kurzschlussstäbe abfließen.

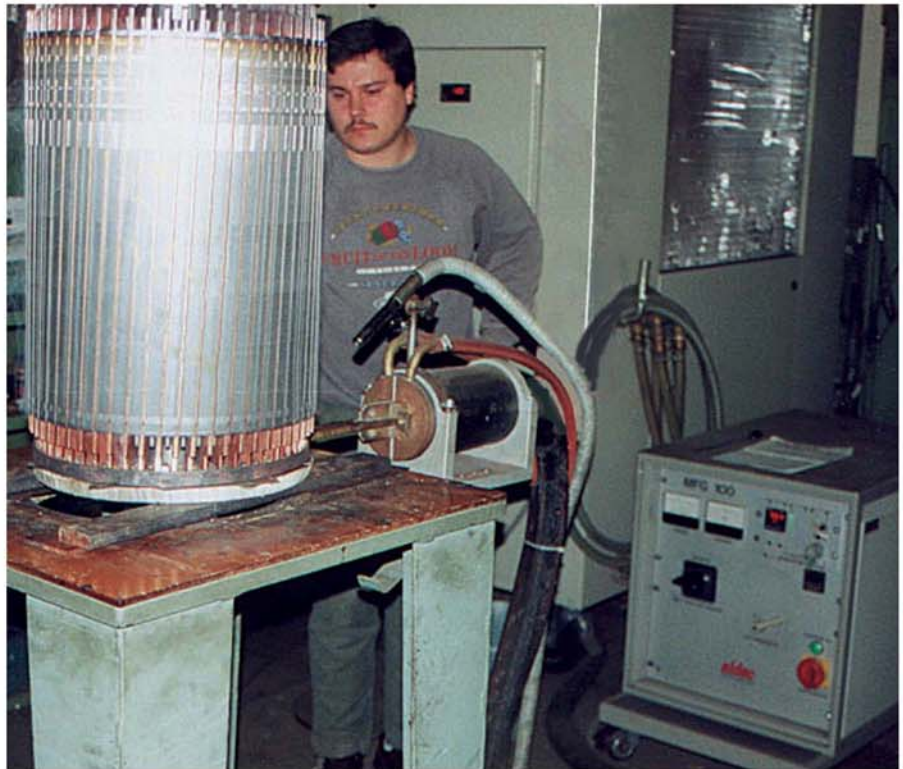
Die im *Bild 7* dargestellte Lötmethode ist recht einfach durchzuführen, da der zu erwärmende Kurzschlussring direkt auf den isolierten Lötinduktor aufliegt. Der an den Koaxtrafo (*Bildmitte*) befestigte Koaxtrafo ist mit dem



▲ *Bild 6: Mit hoher Leistungsdichte (eldec MFG 50) induktiv gelötete massive Kupferleiter eines Schleifringläufers. Die bis an die Lötstelle herangeführte Bandisolierung ist thermisch nur geringfügig in Mitleidenschaft gezogen worden. Gesamtquerschnitt der Lötverbindung ca. 650qmm. Lötzeit ca. 30s*



▲ *Bild 8: Auf- bzw. Abschrumpfen einer Kappe auf einen schnelllaufenden Motor. Die Kappe ist dicht mit Wärmekabeln bewickelt, die über einen speziellen Schaltkasten (unten) mit der Induktionserwärmungsanlage MFG 50 (im Hintergrund) über einen speziellen Generatorausgang verbunden sind*



▲ *Bild 7: Induktives Löten eines Kurzschlussläufers mit dem eldec MFG 100 (rechts unten). Der Läufer steht direkt auf dem isolierten Lötinduktor, wodurch eine gute Leistungsübertragung möglich ist. Der Lötprozess läuft durch pyrometrische Leistungssteuerung automatisch ab, so dass immer eine optimale Lötqualität erreichbar ist und das bei geringst möglichem Energieeintrag*

Generator, hier der eldec MFG 100, wieder über ein 10m langes Kabel verbunden (*rechts im Bild*).

Mittels im Generator integriertem Pyrometer (Optik am Koaxtrafo befestigt) wird bei Erreichen der im Display des Generators eingestellten Solltemperatur die Leistung entsprechend heruntergeregelt und über Timer begrenzt. So kann bei hoher Lötqualität rationell gelötet werden ohne zu viel Wärmeverluste und Luftverschmutzung in Kauf nehmen zu müssen, wie es vor dem Einsatz der Induktionserwärmung bei der Erwärmung mit Gasbrennern noch üblich war.

Neben dem Einsatz der Induktionserwärmung zum Löten kann zusätzlich auch das Auf- und Abschrumpfen von z.B. massiven Kappen bei schnelllaufenden Motoren durchgeführt werden. Im *Bild 8* ist eine derartige Anwendung zu sehen.

Die Induktionsspule besteht hier aus luftgekühlten Kabeln, die um die zu erwärmende Kappe gewunden werden. Bei einem Kappengewicht von z.B. 3 bis 4 t kann ein eldec MFG 100 zum Einsatz gelangen.

Die 100kW reichen aus, um die Kappe in 2 bis 3h auf ca. 350°C zu erwärmen. Um solch eine Induktionserwärmungsanlage rationell auszunutzen, können zwei oder mehr Leistungsausgänge in Kabelform vorgesehen werden. Zum Beispiel können zwei Ausgänge für das Löten im Wechsel und ein Ausgang für das Schrumpfen installiert werden. ■

Literatur

- [1] Peter, H.-J.: *Perfektes Löten mit mobilen Induktionserwärmungsanlagen*. DVS-Berichte Bd. 192, S. 137-140. Deutscher Verlag f. Schweißtechnik DVS-Verlag, Düsseldorf 1998.

eldec Schwenk Induction GmbH
 Deutschland
 Fax: Int'l +49 30 566 55 47
 E-mail: peter@eldec.de
 Website: www.eldec.de