

# ALUMINIUM

Sonderdruck aus...  
Originally published in...  
ALUMINIUM · 79 (2003) 6

## Schaltanlagenkonzept für mehrzonige induktive Blockerwärmungsöfen

Switching unit concept  
for multiple-zone inductive  
billet heating furnaces



St. Beer, Iserlohn

*To ensure precise temperature control even with billets of different lengths and alloys, induction furnaces with axially arranged part-windings are preferable to gas fired furnaces because of the way they work. Heat is generated directly in the body of the charge, so an induction furnace can produce a very high power density there.*

*From the standpoint of process technology an axial temperature profile in the aluminium billet is advantageous in enabling isothermal extrusion. Furthermore, in the continuous or billet-on-billet oper-*

*Um eine definierte Temperaturführung auch bei unterschiedlichen Bolzenlängen und Legierungen zu gewährleisten, ist der Induktionsofen mit axial angeordneten Teilspulen dem Gasofen auf Grund der Wirkungsweise überlegen. Die Wärmeentwicklung erfolgt unmittelbar im Einsatzgut, so dass hier mit einem Induktionsofen sehr grosse Leistungsdichten realisiert werden können.*

Aus verfahrenstechnischer Sicht ist ein axiales Temperaturprofil im Aluminiumbolzen vorteilhaft um ein isothermes Strangpressen zu ermöglichen. Weiterhin wirken

sich der geringere Anpressdruck und Verbesserung des Entlüftens beim Aufstauchen in der kontinuierlichen bzw. Block-auf-Block Betriebsart positiv auf den Gesamtprozess aus. Sehr häufig erfolgt die Grunderwärmung des Bolzens in einem Gasofen, während der nachfolgend angeordnete Induktionsofen dann ein gewünschtes Temperaturprofil im Bolzen erzeugt. Aufgrund der wesentlich höheren Flexibilität werden zunehmend leistungsstarke Induktionsofen für die Gesamterwärmung eingesetzt.

Hier ist der Induktionsofen in einphasiger Spulenschaltung,

I. A. S.

INDUKTIONSS-ANLAGEN+ SERVICE GMBH & Co. KG

Am Großen Teich 16 u. 27 · 58640 Iserlohn

Tel: 0 23 71 / 43 46-0 Fax: 0 23 71 / 43 46-43

eMail-Adressen: [verkauf@ias-gmbh.de](mailto:verkauf@ias-gmbh.de) · [technik@ias-gmbh.de](mailto:technik@ias-gmbh.de)

internet.homepage: <http://www.ias-gmbh.de>

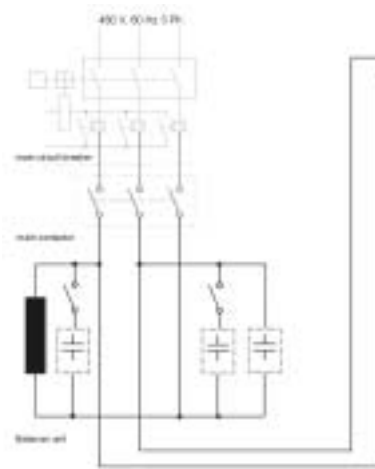


Bild 1: Schaltung

welcher über mehrere separat schaltbare Teilspulen verfügt, in Verbindung mit verlustarmen Spulen als gegenwärtiger Stand der Technik zu bezeichnen. Durch die einphasige Spulenverschaltung wird eine gleichmäßige Temperaturverteilung in Folge der homogenen magnetischen Feldverteilung sichergestellt. Dazu bedarf es sogenannter Symmetrierungseinheiten, die eine gleichmäßige Phasenbelastung für das speisende Drehstromnetz gewährleisten. Das Prinzipschaltbild einer Symmetrierungsschaltung nach dem System Steinmetz ist in einer Skizze (Bild 1) zu ersehen.

Auf Grund der Tatsache, dass je nach eingesetzter Blocklänge teilweise 3 und mehr axiale Spulen-segmente vorhanden sind, ist eine konventionelle Symmetrieeinrich-

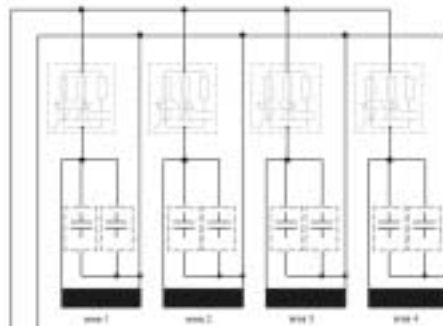


Fig. 1: Circuit

tung hinsichtlich der notwendigen Schaltstufen sehr aufwändig, da um eine Netzsymmetrie zu gewährleisten die Symmetrierleistung den variierenden Ofenleistungen angepasst werden muss.

Weiterhin nachteilig ist die notwendige, hohe Schaltdynamik der Symmetrierungseinheit die hohe Anforderungen an die Schaltgeräte stellt und zudem noch wartungsintensiv ist.

Eine weitere Alternative ist der direkte Anschluss an ein konventionelles Dreiphasensystem. Dabei treten jedoch, bedingt durch die elektrische Phasenverschiebung an den Übergängen der Spulenteilgruppen Wechselwirkungen auf, die zu Temperatureinbrüchen führen. Durch die Verwendung von sogenannten Doppelstock-

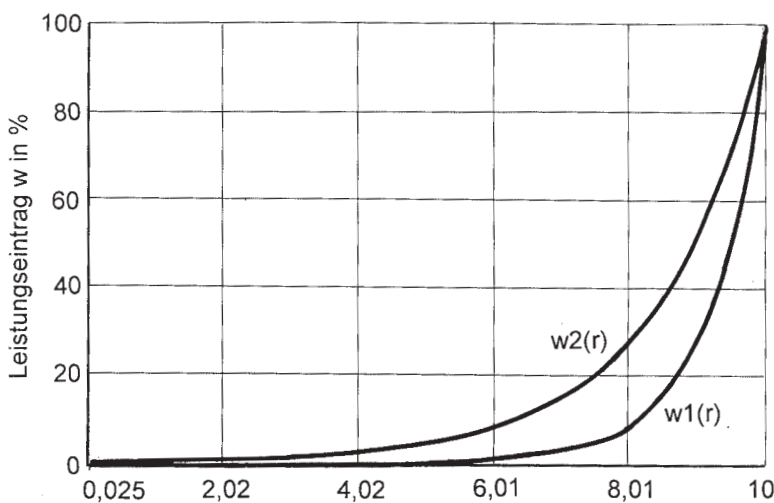


Bild 2: Darstellung Eindringtiefe bei unterschiedlichen Arbeitsfrequenzen

Fig. 2: Representation of penetration depth at various working frequencies

ating mode the lower starting pressure and improved venting during upsetting have a positive effect on the process as a whole. Very often the basic heating of the billet takes place in a gas furnace and the downstream induction furnace then produces the desired temperature profile in the billet. Owing to their essentially greater flexibility, however, powerful induction furnaces are increasingly being used for the entire heating process.

Here, the present state of the art can be regarded as an induction furnace in a single-phase winding circuit which has several separately switched part-windings in combination with low-loss coils. The single-phase coil circuit ensures uniform temperature distribution thanks to the homogeneous distribution of the magnetic field. For this, so-termed symmetrising units are needed, which ensure uniform phase loading of the supply AC mains. A block circuit diagram illustrating the principle of a symmetrising circuit according to the Steinmetz system is shown in fig. 1.

Owing to the fact that depending on the billet length there are sometimes 3 or more coil segments, a conventional symmetrising unit is very elaborate in relation to the necessary switching steps since in order to ensure mains symmetry the symmetrising step power has to be matched to the varying furnace powers.

A further disadvantage is the necessary, high switching dynamics of the symmetrising unit, which makes severe demands on the switching apparatus and is also maintenance-intensive.

Another alternative is direct connection to a conventional three-phase system. In this case, however, owing to the electrical phase shifts interactions occur at the transitions between the coil part-groups, which result in temperature breaks. The use of so-termed dual-pole transformers can reduce the phase shifts on the secondary side. Division of the coil groups into several zones enables the temperature profile to be influenced. The disadvantages are both

thermal (poor heat penetration between the phases) and electrical in nature (unsymmetrical 3-phase load), and are even more noticeable.

Bearing this in mind, a new concept was developed in which a "TEM-Pro-Heater" is fed by a transverter. In principle this technique has long been known for the supply of inductive melt furnaces, although in this case the frequency conversion and so therefore an increase of the specific power density are the most important factors. This application was first used by I.A.S. with 4 part-zones as early as in 1999 with an indirect extrusion press for high-strength aluminium alloys, with great success.

The important feature here is the continuously variable power regulation while maintaining the mains frequency of 50 Hz with complete phase symmetry regardless of the number of zones switched on. Thanks to its modular design the equipment consists of a few compact aggregates, which ensure very short assembly and commissioning times. Meanwhile, consistent further development and modularisation has made it possible to achieve transferred power densities of up to 800 kW/m<sup>2</sup> with simultaneous frequency reduction.

Since the heating process is determined above all by the penetration depth / billet diameter ratio and the power density, in the heating of aluminium billets with diameter larger than 90 mm it is necessary to operate at mains frequency.

With larger billet diameters it is better to operate the plant at reduced frequency.

The TEM-Pro-Heater consists of *n* individual coils, depending on the field of application, each supplied by a parallel resonance transverter. Thus, each zone is associated with an inverting transverter module.

All the modules operate at the same field frequency and phase so that no heating zones of markedly reduced power are produced. Each zone can be operated at any desired

transformatoren kann eine Reduzierung der Phasenverschiebungen auf der Sekundärseite erzielt werden. Durch das Aufteilen der Spulengruppen auf mehrere Zonen ist es durchaus möglich, das Temperaturprofil zu beeinflussen. Auf Grund des mehrphasigen Anschlusses ergeben sich Nachteile in Form einer schlechteren Durchwärmung zwischen den Zonen sowie eine unsymmetrische Belastung des speisenden Netzes.

Unter diesen Aspekten wurde ein neues Konzept entwickelt in der ein "Tempro-Heater" mit einem Umrichter gespeist wird. Diese Technik ist prinzipiell seit langem für die Versorgung von induktiven Schmelzanlagen bekannt, wobei hier allerdings die Frequenzumrichtung und somit eine Erhöhung der spezifischen Leistungsdichte im Vordergrund steht. Erstmals wurde diese Applikation von I.A.S. mit 4 Teilzonen bereits 1999 bei einer Indirektpresse für hochfeste Aluminiumlegierungen mit großem Erfolg eingesetzt.

Im Vordergrund stand hier die stufenlose Leistungsregulierung unter Beibehaltung der Netzfrequenz von 50 Hz bei vollständiger Phasensymmetrie unabhängig von der Anzahl der eingeschalteten Zonen. Die Anlage besteht auf Grund des modularen Konzepts aus wenigen kompakten Baugruppen, welche eine extrem kurze Montage und Inbetriebnahmezeit gewährleisten. Durch konsequente Weiterentwicklung und Modularisierung sind mittlerweile zu übertragende Leistungsdichten von bis zu 800 kW/m<sup>2</sup> bei gleichzeitiger Frequenzabsenkung realisiert worden.

Da der Erwärmungsprozeß in erster Linie von dem Verhältnis Eindringtiefe/Bolzendurchmesser und Leistungsdichte bestimmt wird, ist bei der Erwärmung von Aluminiumbolzen Ø >90 mm ein Betrieb mit Netzfrequenz notwendig.

Bei größeren Bolzendurchmessern ist es günstiger die Anlage mit abgesenkter Frequenz zu betreiben.

Der TEM-Pro-Heater besteht je

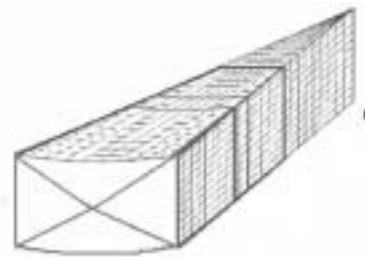


Bild 3: FEM Segment

Fig. 3: FEM segment

nach Einsatzfeld aus *n* Einzelspulen, die jeweils von einem Parallelschwingkreisumrichter versorgt werden. Jeder Zone ist somit ein Wechselrichter-Modul zugeordnet.

Alle Module arbeiten mit gleicher Frequenz und Phase des Feldes damit keine leistungsreduzierte Erwärmungsbereiche entstehen. Jede Zone kann mit beliebigen Leistungsdichten betrieben werden, dadurch kann das axiale Temperaturprofil in den Bolzen eingepreßt werden. Es sind dynamische und statische Erwärmungsvorgänge realisierbar. Mit diesem Konzept werden somit folgende Vorteile gegenüber konventionellen Anlagen erzielt.

- Stufenlose teilgruppenunabhängige Leistungsregulierung (besseres Temperaturprofil, individuelle Anpassungsmöglichkeiten an den Prozess),
- Konstantleistungsregulierung,
- gleichmäßige Netzbelastung, unabhängig von der Anzahl der eingeschalteten Spulengruppen,
- keinerlei mechanische Schaltgeräte,
- kompakter Aufbau und vereinfachter Signalaustausch zur übergeordneten SPS durch Nutzung

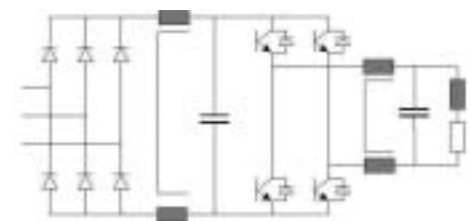


Bild 4: Prinzipielles Blockschaltbild eines Umrichtermoduls

Fig. 4: Block circuit diagram showing the principle of a transverter module

standardisierter Bus Systeme,

- hoher Wirkungsgrad, da eine verlustbehaftete Symmetrierungseinheit entfallen kann,
- Einsatz von Transistoren im Wechselrichter reduzieren die Schaltgeräteverluste,
- bei entsprechender Konfiguration ist eine Frequenzvariation möglich (bessere Durchwärmung durch Vergrößerung der Eindringtiefe),
- vollständige Digitalisierung der Umrichtersteuerung mit Zentralsteuerbaugruppe SPS basiert,
- PID Regelverhalten reduziert das Überschwingen bei großen Leistungsdichten,
- variable Rampencharakteristik bis zum Erreichen des gewählten Sollwertes reduziert das Überschwingen bei kleinen Temperaturhysteresewerten bzw. schlechten Wärmeleiteigenschaften,
- beliebige Leistungskurven je nach Vorgabe,
- Netzleistungsfaktor  $\cos \phi > 0,95$ , lastunabhängig.

Mittlerweile wurden bereits mehrere Anlagen mit dieser Technologie erfolgreich in Betrieb genommen. Da die Leistungselektronik auf Grund der permanenten Weiterentwicklung auch zukünftig für immer mehr Applikationen auch vom preislichen Aspekt interessanter wird, ist hier insbesondere mittelfristig mit einer weiteren Verbreitung zu rechnen.

Transistorbasierte Umrichter werden für bestimmte Anwendungen die besonders im Bereich bis 10 kHz verbreiteten thyristorbasierten Umrichter ersetzen, da sie aus technischer Sicht erhebliche Nachteile aufweisen (Anschwingbrücke etc.). Ebenso werden die spezifischen Leistungsdichten stetig anwachsen, so dass mittelfristig bei bestimmten Bauleistungen auch luftgekühlte Umrichter für induktive Anwendungen interessant werden.

Autor

Dipl.-Ing. Stefan Beer (1967) ist geschäftsführender Gesellschafter der Firma I.A.S. in Iserlohn.



Bild 5: Umrichtergespeiste 5 Zonen-Anlage mit 1250 kW und kompletter Fördertechnik

*power density so that the axial temperature profile can be imposed on the billets. Dynamic and static heating can be carried out. Compared with conventional equipment, this concept therefore has the following advantages:*

- continuous power regulation regardless of the part-groups (better temperature profile, individual adaptation options for the process),
- constant power regulation,
- uniform mains load regardless of the number of coil groups switched on,
- no mechanical switchgear at all,
- more compact structure and simpler signal exchange with the master SPS by the use of standard bus systems,
- higher efficiency, since a loss-affected symmetrising unit can be dispensed with,
- the use of transistors in the inverting transverter reduces switch-gear losses,
- with appropriate configuration, frequency variation is possible (better heat penetration due to greater penetration depth),
- complete digitalisation of the transverter controls, with a SPS-based central control aggregate,
- PID regulation reduces overshoot at high power densities,
- variable ramp characteristic until the chosen set value has been

Fig. 5: Transverter-fed 5-zone unit with 1250 kW power and complete conveyor technology

*reached reduces overshoot with small temperature hysteresis values or poor heat conductivity, any desired power curve, according to specification, mains power factor  $\cos \phi > 0.95$  regardless of the load.*

Meanwhile, several units with this technology have already come into operation. Since constant further development for more and more future applications is in hand, this is likely to make the power electronics increasingly interesting in price terms too and more widespread use can be expected especially in the medium term.

For certain applications transistor-based transverters will replace the thyristor-based ones widely used especially in the range up to 10 kHz, since from the technical standpoint the latter have substantial disadvantages (oscillation bridges, etc.). Likewise, the specific power densities will grow steadily, so that in the medium term air-cooled transverters will also become interesting for inductive applications in certain power aggregates.

Author

Dipl.-Ing. Stefan Beer (1967) is the proprietor and Managing Director of the company I.A.S. in Iserlohn.