



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
F27B 17/00 (2022.05)

(21)(22) Заявка: 2021138229, 22.12.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
22.12.2021

Дата регистрации:  
17.08.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 22.12.2021

(45) Опубликовано: 17.08.2022 Бюл. № 23

Адрес для переписки:  
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, ФГАОУ  
ВО "УФУ", Центр интеллектуальной  
собственности, Маркс Т.В.

(72) Автор(ы):

Камаев Дмитрий Алексеевич (RU),  
Лузгин Владислав Игоревич (RU),  
Фризен Василий Эдуардович (RU),  
Коптяков Александр Сергеевич (RU),  
Николаев Дмитрий Андреевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Уральский федеральный  
университет имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина" (RU)

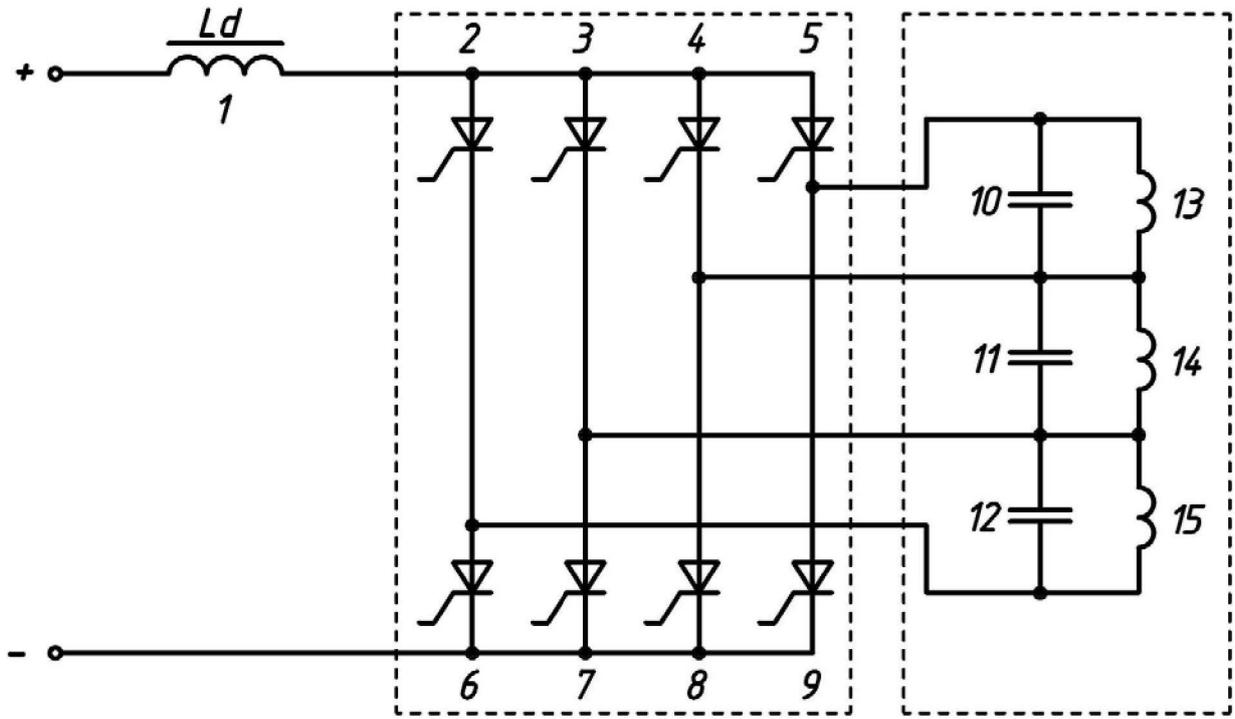
(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 203248 U1, 29.03.2021. RU  
2405286 C1, 27.11.2010. RU 2342809 C1,  
27.12.2008. RU 2317657 C2, 20.02.2008. RU  
2460246 C1, 27.08.2012. WO 1991015935 A,  
17.10.1991.

(54) Установка индукционной плавки металлов

(57) Реферат:

Изобретение относится к установке индукционной плавки металлов. Установка состоит из индукционной печи с однофазным индуктором, зашунтированным компенсирующим конденсатором. Преобразователя частоты с инвертором тока, содержащим две параллельно соединенные группы вентилях, подключенных через фильтровый дроссель к зажимам постоянного тока выпрямителя, причем каждая группа состоит из двух последовательно соединенных вентилях, общие выводы которых подключены к индуктору, выполненному в виде секций, зашунтированных дополнительными компенсирующими конденсаторами, а инвертор снабжен дополнительными группами

последовательно соединенных вентилях, общие выводы которых подключены к общим выводам секций индуктора. Обеспечивается одноконтурная циркуляция жидкого металла в рабочем объеме тигля и эффективное его перемешивание за счет индуцирования в расплаве электродинамических сил, направленных вдоль оси тигля, и формирования бегущей волны электромагнитного давления, создаваемого радиальными электродинамическими силами. Высокая эффективность перемешивания расплава обеспечивает ускорение процессов обработки металлов и улучшение качества получаемых сплавов. 3 ил.



Фиг. 1

RU 2778339 C1

RU 2778339 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*F27B 17/00* (2022.05)

(21)(22) Application: **2021138229, 22.12.2021**

(24) Effective date for property rights:  
**22.12.2021**

Registration date:  
**17.08.2022**

Priority:

(22) Date of filing: **22.12.2021**

(45) Date of publication: **17.08.2022** Bull. № 23

Mail address:

**620002, g. Ekaterinburg, ul. Mira, 19, FGAOU VO  
"UFU", Tsentr intellektualnoj sobstvennosti, Marks  
T.V.**

(72) Inventor(s):

**Kamaev Dmitrii Alekseevich (RU),  
Luzgin Vladislav Igorevich (RU),  
Frizen Vasilii Eduardovich (RU),  
Koptiakov Aleksandr Sergeevich (RU),  
Nikolaev Dmitrii Andreevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal State Autonomous Educational  
Institution of Higher Education Ural Federal  
University named after the first President of  
Russia B.N.Yeltsin (RU)**

(54) **INSTALLATION OF INDUCTION MELTING OF METALS**

(57) Abstract:

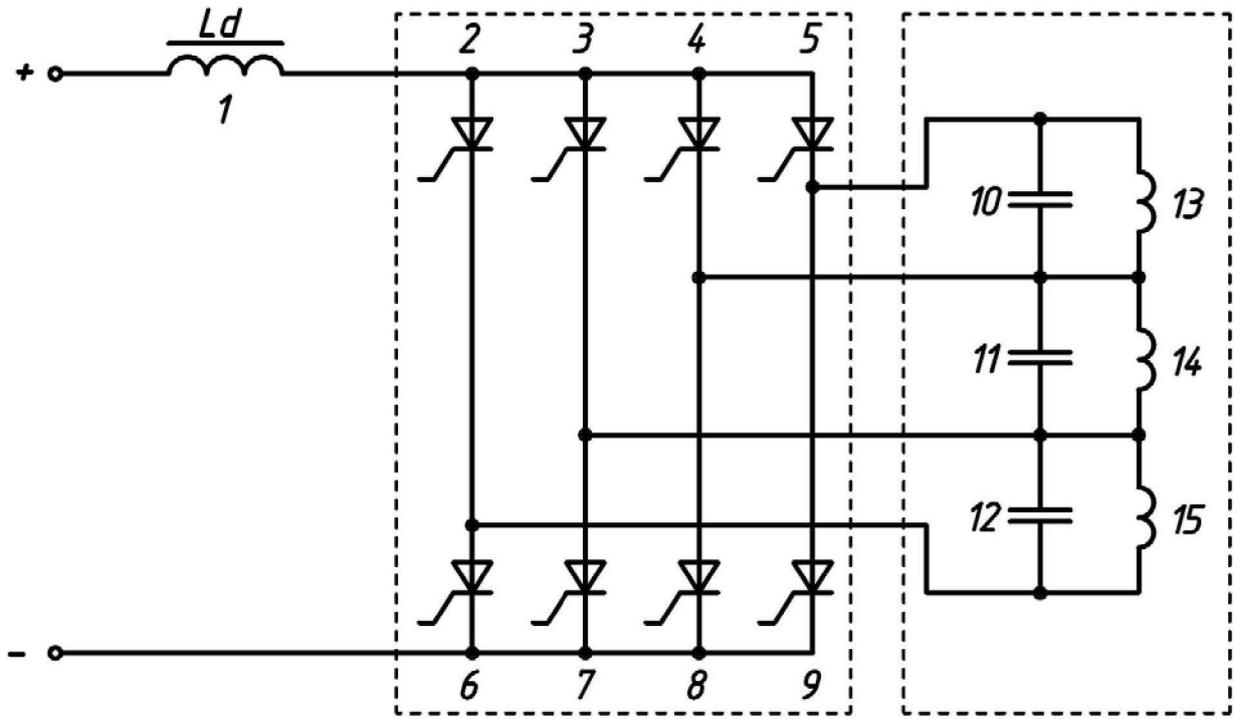
FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to an installation for induction melting of metals. The installation consists of an induction furnace with a single-phase inductor shunted by a compensating capacitor. A frequency converter with a current inverter containing two groups of valves connected in parallel connected through a filter choke to the DC terminals of the rectifier, each group consisting of two series-connected valves, the common terminals of which are connected to an inductor made in the form of sections shunted with additional compensating capacitors, and the inverter is equipped with additional groups of series-connected

valves, the common terminals of which are connected to the common terminals of the inductor sections.

EFFECT: single-loop circulation of liquid metal in the working volume of the crucible and its effective mixing are ensured due to the induction of electrodynamic forces in the melt directed along the axis of the crucible and the formation of a traveling wave of electromagnetic pressure created by radial electrodynamic forces; the high efficiency of melt mixing ensures the acceleration of metal processing processes and the improvement of the quality of the resulting alloys.

1 cl, 3 dwg



Фиг. 1

RU 2778339 C1

RU 2778339 C1

Предлагаемое изобретение относится к области электротехники и металлургии, а именно, к оборудованию для индукционного нагрева и плавки металлов. Индукционные тигельные печи (ИТП) широко используются для получения точных сплавов металлов, в которых реализуются технологии плавки с управляемым движением расплава и характера циркуляции металла.

Наиболее близким по технической сущности к заявленному изобретению является установка индукционной плавки содержащая полупроводниковый преобразователь частоты с параллельным инвертором тока и ИТП с однофазным индуктором [Л1] компании «ABP Induction», схема которого выбрана в качестве прототипа.

Проблемой указанного прототипа является невозможность управления движением металла во время плавки и перемешивания расплава. При однофазном питании индуктора расплав циркулирует по двум тороидальным контурам, обусловленным наличием нормального сжимающего электродинамического давления, неравномерно распределенного по высоте тигля, достигающего максимального значения в средней его части. Кроме этого, силовое воздействие на металл приводит к образованию мениска (выпуклости) на поверхности расплава [Л2]. Двухконтурная циркуляция металла приводит к неоднородности химического состава и к неравномерности распределения температуры в расплаве, так как между циркулирующими контурами перемешивание металла практически отсутствует. При этом мениск приводит к переохлаждению его поверхности и к необходимости использования большого количества защитного шлака.

Предлагаемое изобретение - установка индукционной плавки металлов - позволяет устранить отмеченные недостатки установок классического исполнения и обеспечить эффективное управление движением металла в технологическом процессе обработки и легирования сплава.

Сущность предлагаемого изобретения состоит в следующем. Установка индукционной плавки, состоящая из индукционной печи с однофазным индуктором, зашунтированная компенсирующим конденсатором. Преобразователя частоты с инвертором тока, содержащим две параллельно соединенных группы вентилях, подключенных через фильтровый дроссель к зажимам постоянного тока выпрямителя, причем каждая группа состоит из двух последовательно соединенных вентилях, общие выводы которых подключены к индуктору.

Новым является то, что индуктор печи выполнен в виде секций, зашунтированных, дополнительными компенсирующими конденсаторами, а инвертор снабжен дополнительными группами последовательно соединенных вентилях, общие выводы которых подключены к общим выводам секций индуктора.

На фиг. 1 приведена схема установки индукционной плавки металлов, в которой обозначены:

1 - фильтровый дроссель;

2-9, 5-6 - две основные группы вентилях инвертора;

3-8, 4-7 - дополнительные группы вентилях инвертора;

10, 11, 12 - компенсирующие конденсаторы;

13, 14, 15 - секции индуктора печи.

Установка работает следующим образом. Основные группы вентилях образуют вентиляный мост, в диагональ переменного тока которого включен индуктор печи. При попарном открывании вентилях 2 - 9 и 5 - 6 на выходе инвертора формируется переменный ток прямоугольной формы  $I_H$ . Напряжение на колебательном контуре  $U_H$ , образованном индуктором и компенсирующими конденсаторами, имеет синусоидальную форму, при емкостном характере полного сопротивления и фазовым сдвигом по

отношению к основной гармонике тока инвертора на угол  $\varphi_n$  (см. фиг. 2а). Секции индуктора и компенсирующие конденсаторы образуют колебательные контуры 10 - 13, 11 - 14, 12 - 15, причем, собственные частоты верхних контуров должны быть выше нижних, при этом напряжение на верхних секциях индуктора имеет отстающий фазовый сдвиг по отношению к напряжению на нижних секциях индуктора. На векторной диаграмме (см.фиг.2,а) фазовый сдвиг напряжений  $U_{12}$  и  $U_{13}$  равен углу  $\varphi_{23}$ , а угол между напряжением  $U_{11}$  и  $U_{12}$  составляет  $\varphi_{12}$ . При этом геометрическая сумма напряжения на секциях равна общему напряжению на индукторе.

$$U_n = U_{13} + U_{12} + U_{11}$$

На такие же углы сдвинуты токи в секциях индуктора, которые индуцируют сдвинутые по фазе вихревые токи в ванне жидкого металла, в результате чего в сопряженных зонах секций индуктора  $A_1$  и  $A_2$  создаются тангенциальные электродинамические силы, направленные снизу вверх вдоль оси тигля  $P_{\tau 12}$ ,  $P_{\tau 23}$  (фиг. 2б). Кроме этого, создаются нормальные составляющие сил электродинамического воздействия, вызывающие радиальное давление на ванну жидкого металла  $P_{n11}$ ,  $P_{n12}$ ,  $P_{n13}$ . Совместное действие осевых и радиальных сил способствуют образованию одноконтурной циркуляции металла с восходящими потоками металла у стенок тигля (см. фиг.2в). Однако осевые электродинамические силы значительно меньше радиальных, поэтому для изменения характера циркуляции металла в тигле осевых усилий, образующихся в расплаве, может быть недостаточно. Для повышения эффективности перемешивания металла целесообразно изменить режим электропитания секций индуктора так, что бы величина высокочастотного тока в них периодически изменялась в определенной последовательности. При этом нормальное электродинамическое давление, воздействующее на ванну жидкого металла, перемещается вдоль оси тигля, создавая бегущую волну давления с заданной скоростью и вызывая направленное движение жидкого металла. Такой режим электропитания секций индуктора обеспечивается в предлагаемой схеме инвертора тока, приведенной на фиг. 1.

В первом режиме работы инвертора попарно включаются вентили 2 - 7 и 3 - 6, при этом формируется выходной ток инвертора прямоугольной формы, питающий колебательный контур 12 - 15. В нем создается наибольший ток и развивается наибольшее электромагнитное давление  $P_{n13}$  в нижней части тигля печи (см. фиг. 3а). В других секциях индуктора протекает ток взаимоиндукции, и создаются радиальные давления  $P_{n11}$ ,  $P_{n12}$  значительно меньшие, чем в нижней части тигля, а также воздействуют осевые силы  $P_{\tau 12}$ ,  $P_{\tau 23}$ .

Во втором режиме работы попарно включаются вентили 2 - 8, 4 - 6 и выходной ток инвертора протекает по двум последовательно соединенным колебательным контурам 11 - 14, 12 - 15. В них возбуждаются токи и создаются радиальные силы давления  $P_{n12}$ ,  $P_{n13}$  в нижней и средней части тигля печи (см. фиг. 3б). В верхней секции индуктора протекает ток взаимоиндукции и создается относительно небольшое радиальное давление  $P_{n11}$ . В расплаве также создаются наибольшие осевые силы  $P_{\tau 23}$  и относительно небольшие  $P_{\tau 12}$ .

В третьем режиме работы попарно включаются вентили 2 - 9, 5 - 6 и выходной ток инвертора протекает по трем последовательно соединенным колебательным контурам 10 - 13, 11 - 14, 12 - 15, в которых возбуждаются примерно одинаковые токи и создается одинаковое радиальное электромагнитное давление  $P_{n11}$ ,  $P_{n12}$ ,  $P_{n13}$ , а в расплаве

появляются одинаковые осевые силы  $P_{\tau 12}$ ,  $P_{\tau 23}$  (см. фиг. 3).

Таким образом, фронт волны радиального давления при переходе от одного режима работы инвертора к другому движется вдоль оси печи снизу вверх со скоростью, определяемой частотой переключения режимов работы инвертора. При этом осевые силы в межсекционных зонах действуют в том же направлении, что способствует созданию одноконтурной циркуляции жидкого металла и активному его перемешиванию по всему рабочему объему печи.

#### Источники информации

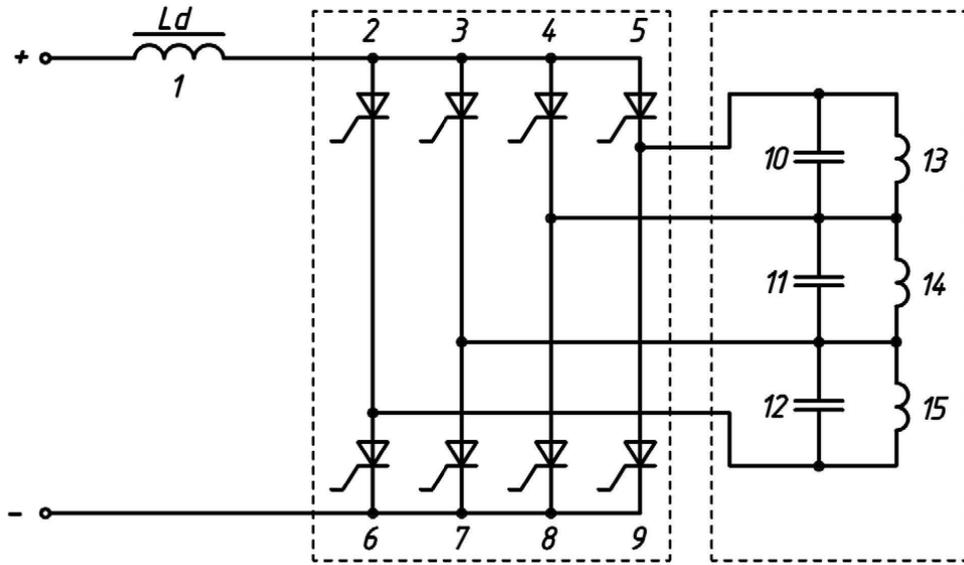
1. Информационный каталог индукции фирмы ABP «THYRISTOR CONVERTER WITH PARALLEL RESONANT CIRCUIT» [www.abpinduction.com](http://www.abpinduction.com)

2. Вайнберг А.М. Индукционные плавильные печи. Учебное пособие для вузов М.: Энергия, 1967 г, с. 213.

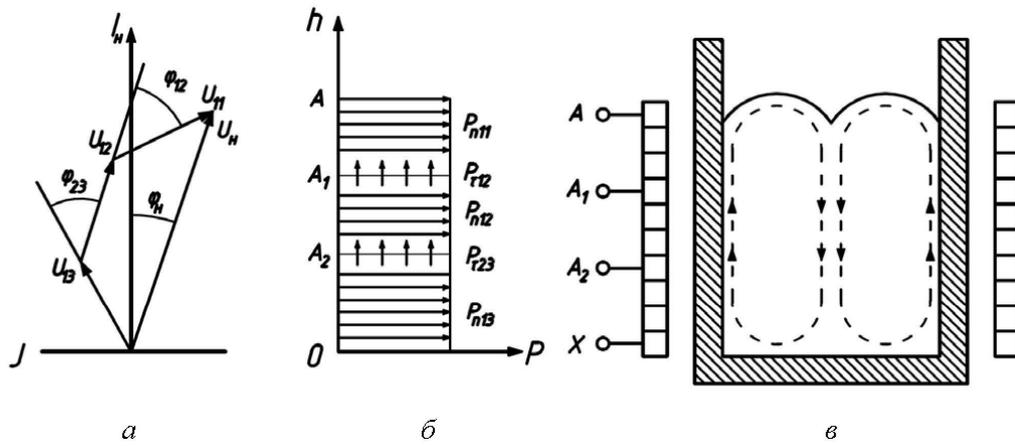
#### (57) Формула изобретения

Установка индукционной плавки металлов, состоящая из индукционной печи с однофазным индуктором, зашунтированным компенсирующим конденсатором преобразователя частоты с инвертором тока, содержащим две параллельно соединенные группы вентилях, подключенных через фильтровый дроссель к зажимам постоянного тока выпрямителя, причем каждая группа состоит из двух последовательно соединенных вентилях, общие выводы подключены к индуктору, отличающаяся тем, что индуктор выполнен в виде секций, зашунтированных дополнительными компенсирующими конденсаторами, а инвертор снабжен дополнительными группами последовательно соединенных вентилях, общие выводы которых подключены к общим выводам секции индуктора.

1

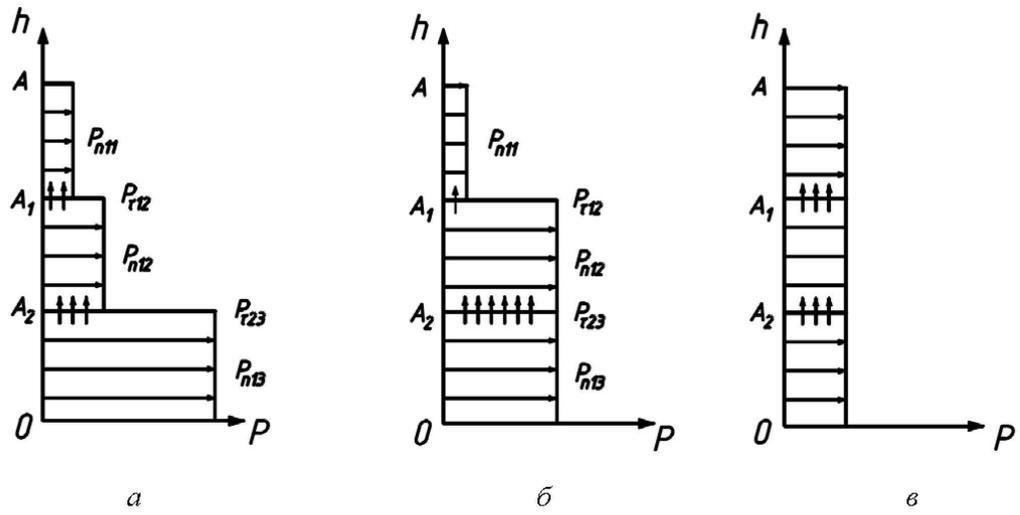


Фиг. 1



Фиг. 2

2



Фиг. 3