
НОВЫЕ МЕТОДЫ И ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ

УДК 621.74:621.313:658.382:538.4

**В. И. Дубоделов, В. А. Середенко, В. Н. Фиксен,
А. А. Паренюк, А. О. Горшков, М. С. Горюк**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ДАВЛЕНИЯ В ДВУХЗОННЫХ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ ДЛЯ ЛИТЬЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Рассмотрена возможность повышения электромагнитного давления магнитодинамических установок за счет использования двух последовательно соединенных рабочих зон. Разработана эскизная конструкторская документация макета модернизированной экспериментальной установки на базе существующей МДН-6А при минимальных изменениях ее конструкции. Выполнено сравнение параметров установки МДН-6А с прогнозируемыми параметрами модернизированной установки.

Ключевые слова: магнитодинамические установки, повышение давления, алюминиевые сплавы, литье.

Розглянуто можливість підвищення електромагнітного тиску магнітодинамічних установок за рахунок використання двох послідовно з'єднаних робочих зон. Розроблено ескізу конструкторську документацію макету модернізованої експериментальної установки на базі існуючої МДН-6А при мінімальних змінах її конструкції. Виконано порівняння параметрів установки МДН-6А з прогнозованими параметрами модернізованої установки.

Ключові слова: магнітодинамічні установки, підвищення тиску, алюмінієві сплави, лиття.

It is viewed the possibility of increasing electromagnetic pressure of magnetodynamic installations at using two series-connected working zones. There is developed the draft design documentation for modernized experimental prototype based on the existing MDN-6A installation with minimal changes of its design. Comparison of MDN-6A installation's parameters with the predicted parameters of the modernized installation is made.

Keywords: magnetodynamic installations, increasing electromagnetic pressure, aluminum alloy, casting.

Магнитодинамическая установка МДН-6А [1] прошла более, чем сорокалетнюю апробацию на многих промышленных предприятиях. В основном ее использовали как миксер-дозатор в сочетании с машинами литья под давлением и кокильными машинами. На базе этой же установки разработан способ литья под низким электромагнитным давлением, который показал высокую промышленную эффективность при получении отливок высотой до 150 мм, особенно тонкостен-

ных [2]. Более широкому применению этого способа препятствует недостаточно высокое электромагнитное давление, создаваемое установкой и составляющее 25 кПа. Существует несколько путей повышения электромагнитного давления. Один из них – использование электромагнитных устройств, в которых две рабочие зоны соединены последовательно, рис. 1.

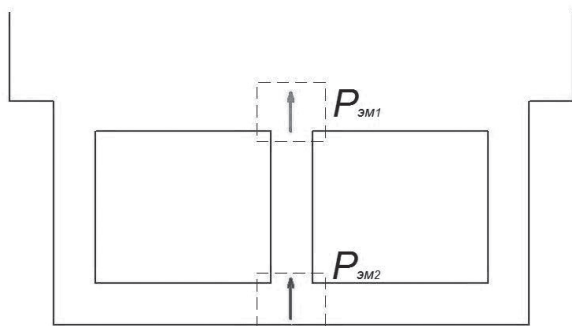


Рис. 1. Схема двухзонной магнитодинамической установки на базе МДН-6А: $P_{эм1}$ – электромагнитное давление, создаваемое в первой рабочей зоне, кПа; $P_{эм2}$ – электромагнитное давление, создаваемое во второй рабочей зоне, кПа

Выражения для создаваемого в рабочих зонах магнитодинамической установки на базе МДН-6А электромагнитного давления имеют следующий вид:

$$P_{эм1} = 2j_1 B_1 l_1 \cos\psi, \quad (1)$$

$$P_{эм2} = 2j_2 B_2 l_2 \cos\psi, \quad (2)$$

где j_1 и j_2 – плотности электрического тока в соответствующих рабочих зонах, А/м²; B_1 и B_2 – индукции магнитного поля в соответствующих рабочих зонах, Тл; l_1 и l_2 – длины соответствующих рабочих зон, м; ψ – угол сдвига фаз между электрическим током и индукцией магнитного поля в рабочей зоне,

которые синусоидально изменяются во времени с одинаковой частотой, град.

При последовательном расположении рабочих зон реализуется суммарное электромагнитное давление $P_{эм}$:

$$P_{эм} = P_{эм1} + P_{эм2}. \quad (3)$$

Если $j_1 = j_2 = j$, а $B_1 = B_2 = B$, то выражение (3) принимает вид:

$$P_{эм} = 2j_1 B_1 l_1 \cos\psi + 2j_2 B_2 l_2 \cos\psi = 2jB \cos\psi (l_1 + l_2). \quad (4)$$

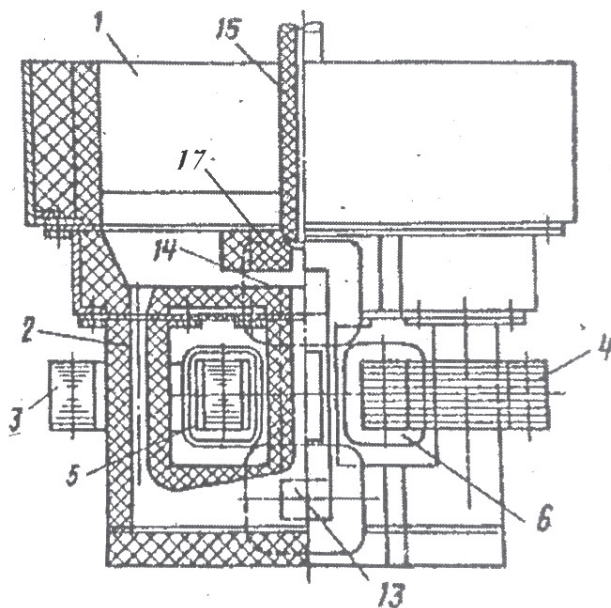
При таких значениях электромагнитных параметров j и B развиваемое электромагнитное давление прямо пропорционально сумме длин рабочих зон.

Известно магнитодинамическое устройство с Ф-образным каналом и двумя последовательно расположенными рабочими зонами [1]. При его работе часть создаваемого давления теряется из-за циркуляции расплава по боковым каналам, поэтому итоговое его значение оказывается меньше суммы давлений, создаваемых каждой из рабочих зон, и составляет примерно 40 кПа. Такое оборудование уступает по технологическим возможностям магнитодинамической установке типа МДН-6А с Ш-образным каналом, поэтому на практике масштабы его практического применения были ограничены. Разработчиками магнитодинамического оборудования (В. П. Полищук, В. С. Яковлев, М. Р. Цин и др.) было предложено, но не реализовано на практике, устройство (магнитодинамический насос), которое объединяет достоинства установок с Ш-образным и Ф-образным каналами [а.с. СССР №1402215]. Оно может быть использовано в тех же процессах, что и установка МДН-6А, однако при этом можно прогнозировать достижения большей величины давления и производительности, чем в выше указанном серийном оборудовании.

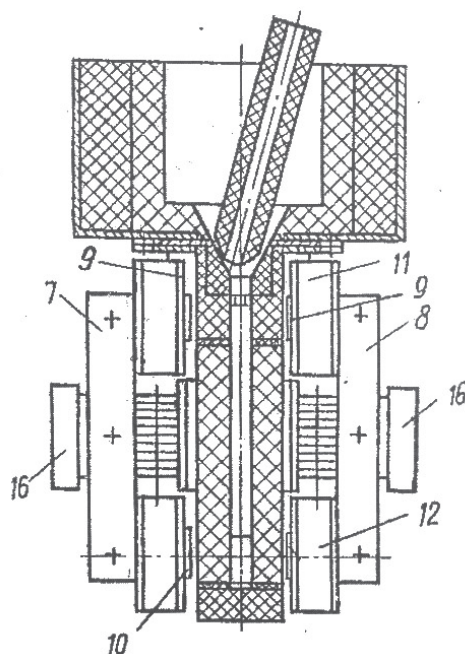
Такой насос содержит тигель 1, канал 2, индукторы 3, 4 с обмотками 5, 6 и электромагнит, магнитопровод которого состоит из двух частей, разделенных зазорами

Новые методы и прогрессивные технологии литья

(рис. 2, а). Магнитопроводы 7, 8 электромагнита параллельны оси центрального вертикального участка канала (рис. 2, б). На полюсных наконечниках участков магнитопровода электромагнита размещены обмотки 9, 10, 11 и 12. На участке соединения центрального, вертикального и горизонтального участков канала 2 сформирована рабочая зона 13 (тройниковой формы). В зоне соединения тигля



а



б

Рис. 2. Схематическое изображение конструкции магнитодинамического насоса с двумя последовательно расположенными рабочими зонами: а – вид спереди с частичным разрезом; б – вид сбоку с частичным разрезом

1 с центральным участком канала 2 сформирована вторая рабочая зона 14, также имеющая крестообразную форму. Над устьем центрального канала 2 установлен съемный металлопровод 15. За счет формирования двух рабочих зон и размещения магнитопровода электромагнита внутри контура, формирующего жидкометаллический виток, создаются условия для увеличения развиваемого давления и повышения гидравлической эффективности тройниковых рабочих зон.

Для регулирования индукции магнитного поля в зазорах между полюсами электромагнита в рассматриваемой конструкции предусмотрено выполнение участков магнитопровода 7 и 8, с возможностью их взаимного перемещения с помощью механизма 16. Такое решение усложняет конструкцию магнитодинамического насоса, а регулирование индукции можно осуществить с помощью изменения напряжения на обмотках электромагнита. При предлагаемом конструктивном выполнении формы канала, примыкающего к верхней рабочей зоне, а именно участков 17, существенно затрудняется как футеровка канальной системы, так и ее разогрев нихромовыми нагревателями перед заливкой жидкого металла.

При использовании предложенной конструкции магнитодинамического насоса с двумя рабочими зонами предусмотрена следующая схема функционирования. Тигель 1 на треть его объема, а канал 2 полностью заполняются жидким алюминиевым сплавом, перегретым на 60 °С выше температуры ликвидуса. Затем на обмотки 5, 6 индукторов 3, 4, включенных в режиме «печи» [1], подается рекомендованное напряжение – 40 В. В витках жидкого металла, замыкающихся по симметричным контурам «боковой-горизонтальный-вертикальный участки канала-тигель», индуцируется электрический ток, обеспечивающий подогрев расплава. При достижении заданной температуры перегрева расплава обмотки 5, 6 индукторов переключаются в режим «насоса» [1] на напряжение 60 В и в тигель 1 догружается твердый шихтовый материал. Перемешивание расплава производится с помощью электромагнитных сил, возникающих при дополнительном к индукторам включении электромагнита. При этом обмотки электромагнитов включаются с перекосом, на обмотки 9, 10 подается напряжение – 60 В, а на обмотки 11 и 12 – 40 В. В результате взаимодействия внешних магнитных потоков с током в канале возникают электромагнитные силы, приводящие расплав в движение.

Для разливы сплава над устьем центрального канала устанавливается металлопровод 15 из не токопроводящего материала, а на обмотках 12 увеличивается напряжение до 60 В, ток в витке металла замыкается по контуру «боковой-горизонтальный-боковой участки канала-тигель». В результате взаимодействия внешнего магнитного потока с индукционным током, плотность которого максимальна по величине в обеих рабочих зонах, образуются электромагнитные силы, приводящие металл в движение по металлопроводу 15.

Увеличение развиваемого насосом давления достигается за счет последовательного формирования в нагнетающем канале двух рабочих зон и размещения магнитопровода электромагнита внутри контура, формирующего жидкометаллический виток, так как при этом увеличивается гидравлическая эффективность тройниковой рабочей зоны. Симметричное расположение обмоток электромагнита относительно обмоток индуктора устраняет индуктивную связь, осуществляемую в установках типа МДН-6А через жидкометаллический виток.

На основе изложенных подходов разработана эскизная конструкторская документация макета модернизированной экспериментальной установки с двумя последовательно расположенными рабочими зонами на базе существующей МДН-6А при минимальных изменениях ее конструкции.

Эскизы вертикальных сечений новой конструкции модернизированной магнитодинамической двухзонной установки показаны на рис. 3.

Вид спереди и сбоку разработанного макета модернизированной магнитодинамической двухзонной установки на базе МДН-6А представлен на рис. 4.

Изометрические изображения макета модернизированной магнитодинамической

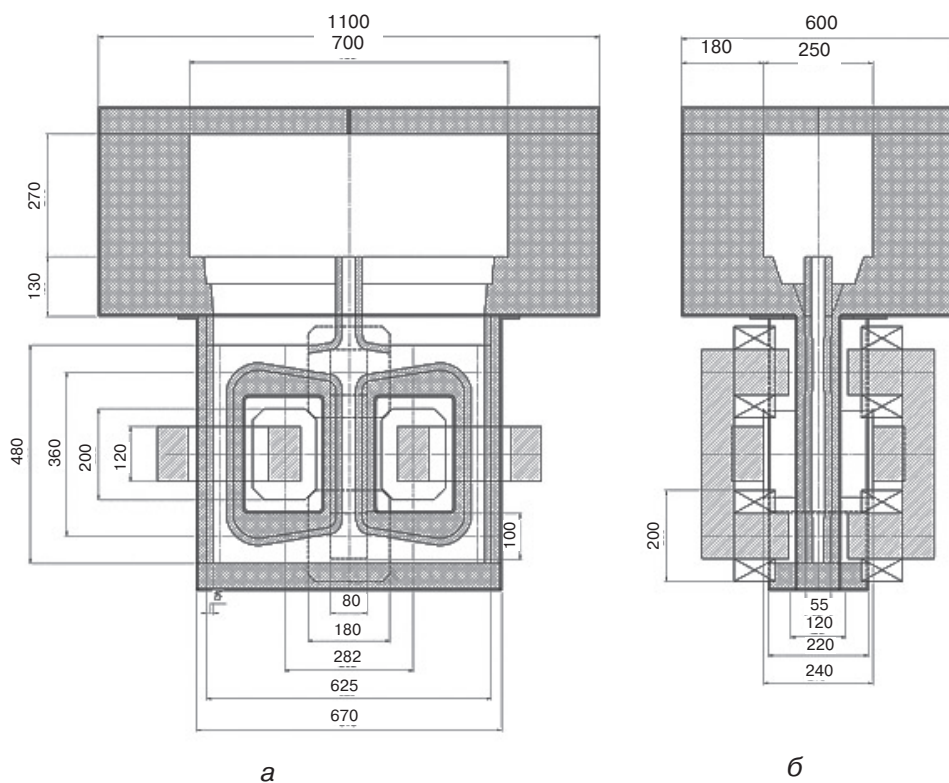


Рис. 3. Эскизы вертикальных сечений модернизированной магнитодинамической двухзонной установки на базе МДН-6А: а – продольный разрез; б – поперечный разрез

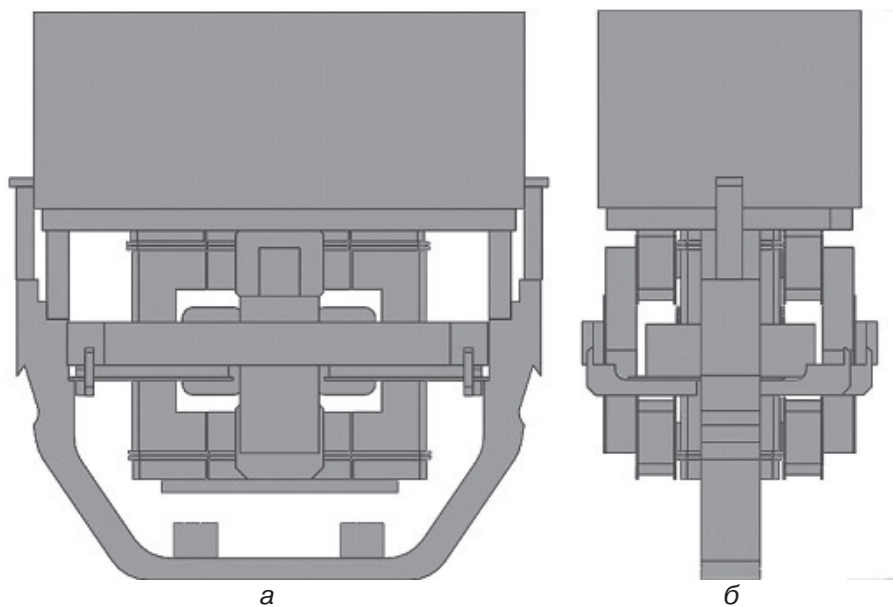


Рис. 4. Виды макета модернизированной магнитодинамической двухзонной установки на базе МДН-6А: а – вид спереди; б – вид сбоку

Новые методы и прогрессивные технологии литья

двухзонной установки на базе МДН-6А, полученные с помощью современного программного комплекса САПР, показаны на рис. 5.

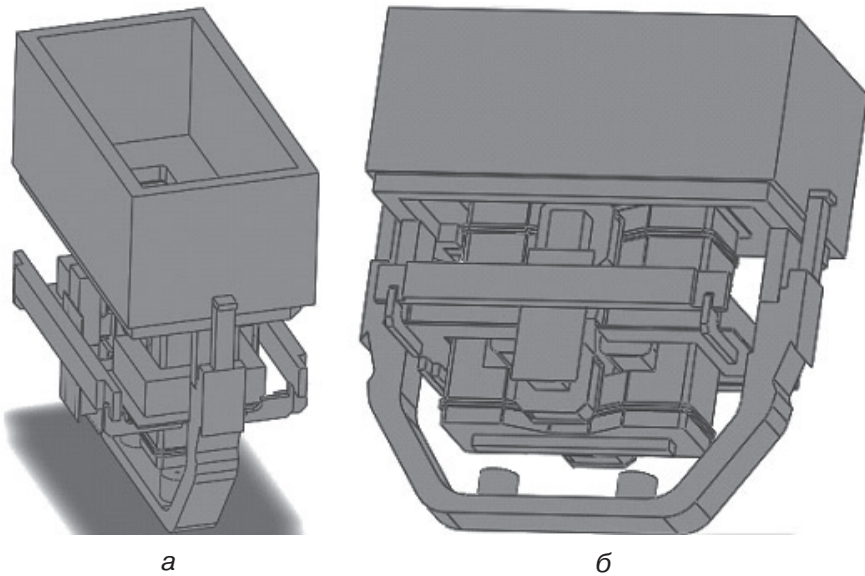


Рис. 5. Изометрические виды макета модернизированной магнетодинамической двухзонной установки на базе МДН-6А: а – вид сбоку-сверху; б – вид спереди-снизу

Проведены расчеты прогнозируемых параметров модернизированной установки на базе МДН-6А, результаты которых представлены в таблице.

Таблица. Сравнение параметров установки МДН-6А с прогнозируемыми параметрами модернизированной магнетодинамической установки с двумя рабочими зонами

Максимальные значения основных параметров	Серийная МДУ типа МДН-6А	Усовершенствованная МДУ
Сила тока в канале I , кА	12	12
Индукция внешнего магнитного поля B , Тл	0,1	0,1
Количество рабочих зон	1	2
Суммарная протяженность зоны создания электромагнитного давления l , мм	80	160-180
Угол сдвига фаз φ между I и B , градусы	29	29
Толщина рабочей зоны δ , мм	30	30
Суммарное электромагнитное давление $P_{ЭМ}$, кПа	24	48-54
Градиент давления по высоте рабочей зоны, кПа/мм	0,3	0,3
Максимальный расход расплава при заливке в формы, кг/с	14	20
Максимально возможная высота отливки при литье под низким электромагнитным давлением, мм	450	900

На основе разработанной конструкции макетного устройства модернизированной магнетодинамической установки с двумя рабочими зонами на базе МДН-6А изготовлен лабораторный образец. Выполняются подготовительные работы по футеровке установки, проведению исследований ее функционирования в холостом режиме и с жидким металлом.



Список литературы

1. Магнетодинамические насосы для жидких металлов / В. П. Полищук, М. Р. Цин, Р. К. Горн и др. – Киев: Наукова думка, 1989. – 256 с.
2. В. Н. Фикссен. Тенденция к применению электромагнитных насосов для литья алюминиевых сплавов под низким регулируемым давлением // *Металл и литье Украины*. – 2004. – № 1-2. – С. 27-30



References

1. Polishchuk V. P., Tsyn M. R, Horn R. K. et al. (1989). Magneto-dynamic pumps for liquid metals [*Magnetodynamic pumps for liquid metals*]. Kiev: Naukova dumka, 256 p. [in Russian].
2. Fikssen V. N. (2004). Tendentsiya k pryumeneniyu elektromagnit-nykh nasosov dlya litya alyumini-evykh splavov pod nizkim reguliruemym davleniem [*To the use of electromagnetic pumps tendency for casting of aluminum alloys under low pressure regulated*]. *Metall i lityo Ukrainy*, № 1, 2, pp. 27-30. [in Russian].

Поступила 18.07.2016