

**В. И. Дубоделов, В. А. Середенко, В.Н. Фиксен,
А. В. Яценко, С. В. Горюк, А. А. Паренюк, Е. А. Финько,
Л. М. Лакомская, В. В. Буряк**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ, МАГНИТНЫХ И СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХЗОННОЙ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЛИТЬЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ НА МАКЕТНОМ УСТРОЙСТВЕ В ХОЛОСТОМ РЕЖИМЕ

Результаты проведенных холостых испытаний макета модернизированной экспериментальной двухзонной магнитодинамической установки подтвердили заложенные при конструировании параметры функционирования электромагнитных систем при их электропитании от трансформаторов стандартной магнитодинамической установки МДН-6А. Полученные данные стали основой для подготовки макета модернизированной экспериментальной установки на базе МДН-6А к горячим испытаниям на жидком алюминиевом сплаве.

Ключевые слова: магнитодинамическая установка, двухзонный макет, холостой режим, характеристики, алюминиевые сплавы.

Результати проведених холостих випробувань макета модернізованої експериментальної двозонної магнітодинамічної установки підтвердили закладені при конструюванні параметри функціонування електромагнітних систем при їх електроживленні від трансформаторів стандартної магнітодинамічної установки МДН-6А. Одержані дані стали основою для підготовки макета модернізованої експериментальної установки на базі МДН-6А до гарячих випробувань на рідкому алюмінієвому сплаві.

Ключові слова: магнітодинамічна установка, двозонний макет, холостий режим, характеристики, алюмінієві сплави.

There is presented the output of idle tests of mock-up device of modernized experimental two-zone magnetodynamic installation. These results have confirmed the designed-in parameters of electromagnetic systems at their power supply by transformers of standard magnetodynamic installation MDN-6A type. Obtained data were the basis for the preparation of developed mock-up device for testing with liquid aluminum alloy.

Keywords: magnetodynamic installation, two-zone mock-up, idle mode, characteristics, aluminum alloys.

Для проведения исследований, направленных на решение важной научно-технической задачи, связанной с повышением напорно-расходных характеристик магнитодинамического оборудования типа МДН-6А, были разработаны концепция устройства, состоящего из двух последовательно соединенных рабочих зон, и эскизная конструкторская документация макета модернизированной экспериментальной установки на базе МДН-6А [1], а также изготовлен лабораторный макет (рис. 1). В соответствии с общепринятой схемой испытаний подобных устройств первый этап исследований проводили в холостом режиме без жидкого металла в канале и тигле установки, в том числе с использованием твердотельного имитатора витка [2].

В отличии от несимметричного расположения электромагнита и индукторов в

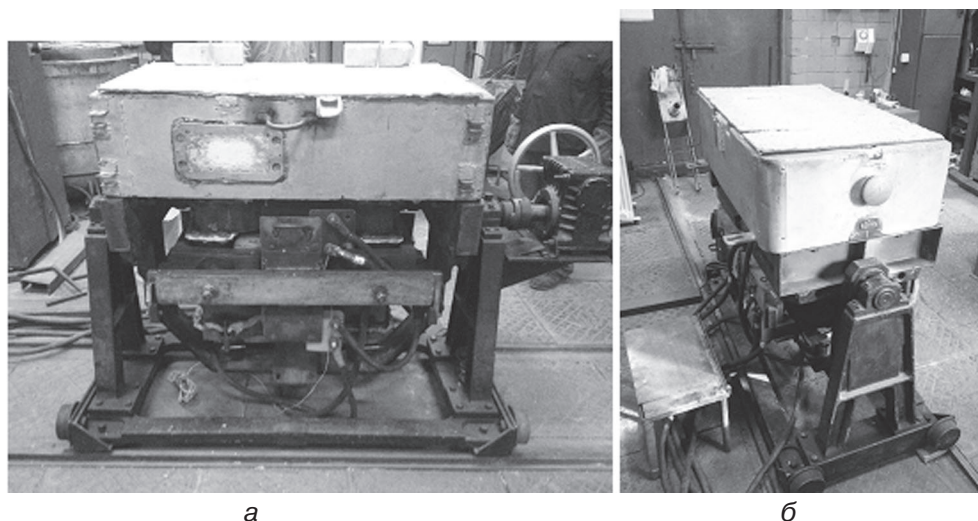


Рис. 1. Общий вид модернизированной двухзонной магнитодинамической экспериментальной установки на базе МДН-6А: а – вид спереди; б – вид сбоку-сверху.

традиционной установке МДН-6А, где из-за их индуктивной связи через жидкометаллический виток происходит начальное снижение напора [3], в модернизированной двухзонной магнитодинамической экспериментальной установке благодаря симметричному расположению обмоток индукторов и электромагнитов условия для начального снижения напора устранены (рис. 2).

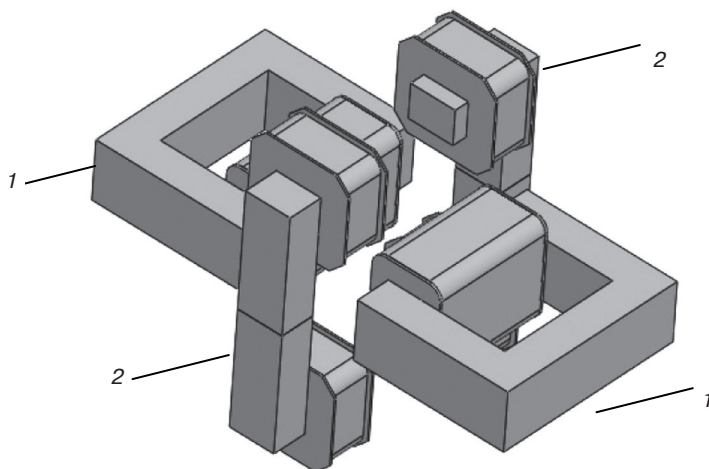
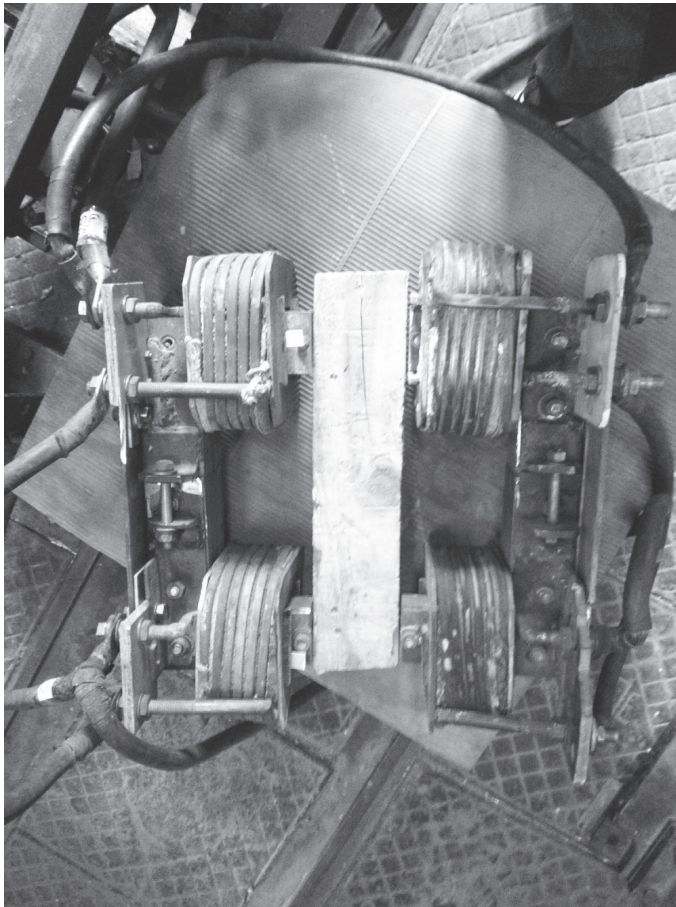
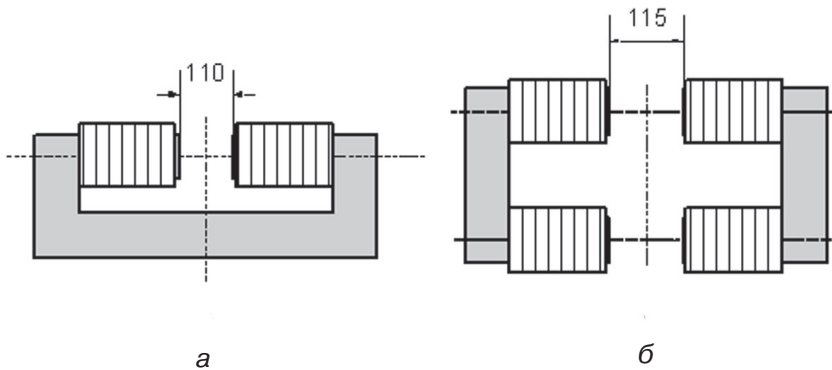


Рис. 2. Расположение в пространстве системы индуктирования тока в канале (индукторы) и системы создания электромагнитного поля в рабочих зонах (электромагниты) двухзонной магнитодинамической экспериментальной установки (при снятом канале): 1 – индукторы; 2 – магнитопроводы электромагнита с катушками

В режиме холостого хода было произведено измерение и сравнение основных характеристик электромагнитной системы разработанной двухзонной магнитодинамической установки и уже существующей серийной МДН-6А. Электромагнитная система создания магнитного поля в рабочей зоне установки МДН-6А представляет собой С-образный магнитопровод с установленными на полюсах

Новые методы и прогрессивные технологии литья

катушками (рис. 3, а). Созданный макет двухзонной магнитодинамической установки имел систему электромагнитов, состоящую из двух П-образных магнитопроводов и четырех катушек, которые устанавливались попарно на полюсах магнитопроводов (рис. 3, б, в).



в

Рис. 3. Электромагнитные системы для создания магнитного поля в рабочих зонах магнитодинамической установки: а – схема системы в серийной установке МДН-6А; б – схема системы в макете вновь созданной магнитодинамической установки с двумя рабочими зонами; в – фото внешнего вида системы электромагнитов, состоящей из двух П-образных магнитопроводов и четырех катушек, применявшейся в макете двухзонной магнитодинамической установки, на которой проводились измерения

Новые методы и прогрессивные технологии литья

Катушки в обеих электромагнитных системах имели двухслойную обмотку из медной шины, сечением $12,5 \times 19 \text{ мм}^2$. Общая длина шины одной катушки составляла 7,9 м. Эти катушки соединяли последовательно и подключали к одному трансформатору.

Вольтамперные характеристики электромагнитных систем представлены на рис. 4, из которого видно, что вольтамперные характеристики очень близки к линейным зависимостям. Коэффициент наклона вольтамперной характеристики стандартного С-образного электромагнита электромагнитной системы МДН-6А в среднем составляет 6,9 А/В, а коэффициент наклона вольтамперной характеристики П-образного электромагнита электромагнитной системы макета магнетодинамической установки с двумя рабочими зонами – 4,3 А/В. Такое различие (в 1,6 раза) связано с повышенным сопротивлением электромагнитной системы П-образного электромагнита в связи с наличием двух немагнитных зазоров и четырех обмоток.

Для сравнения вольтамперных характеристик единичной катушки рассмотренных электромагнитных систем полученные данные в пересчете на напряжение, приложенное к одной катушке, представлены на рис. 5. В результате анализа установлено, что они близки к линейным зависимостям с углами наклона 15,0 А/В (П-образный электромагнит) и 13,3 (С-образный электромагнит). В этом случае различие в углах наклона составило всего 1,1 раза, что свидетельствует о близости электромагнитных нагрузок на одну катушку в обоих электромагнитах.

$I, \text{ А}$

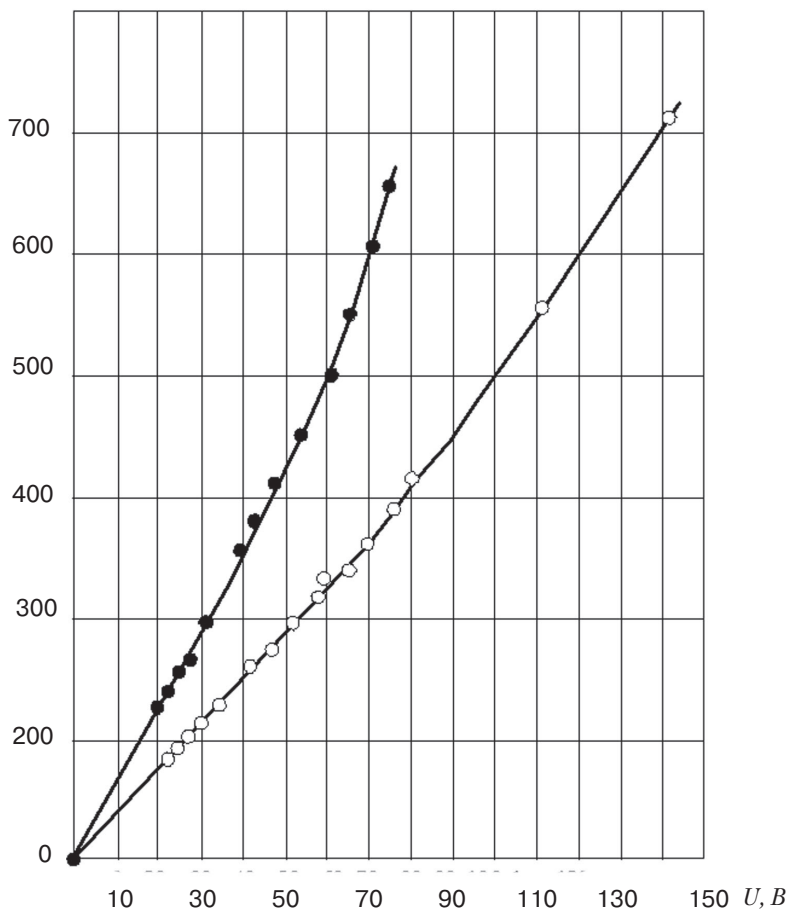


Рис. 4. Вольтамперные характеристики: ● – стандартного С-образного электромагнита электромагнитной системы МДН-6А; ○ – П-образного электромагнита электромагнитной системы макета магнетодинамической установки с двумя рабочими зонами

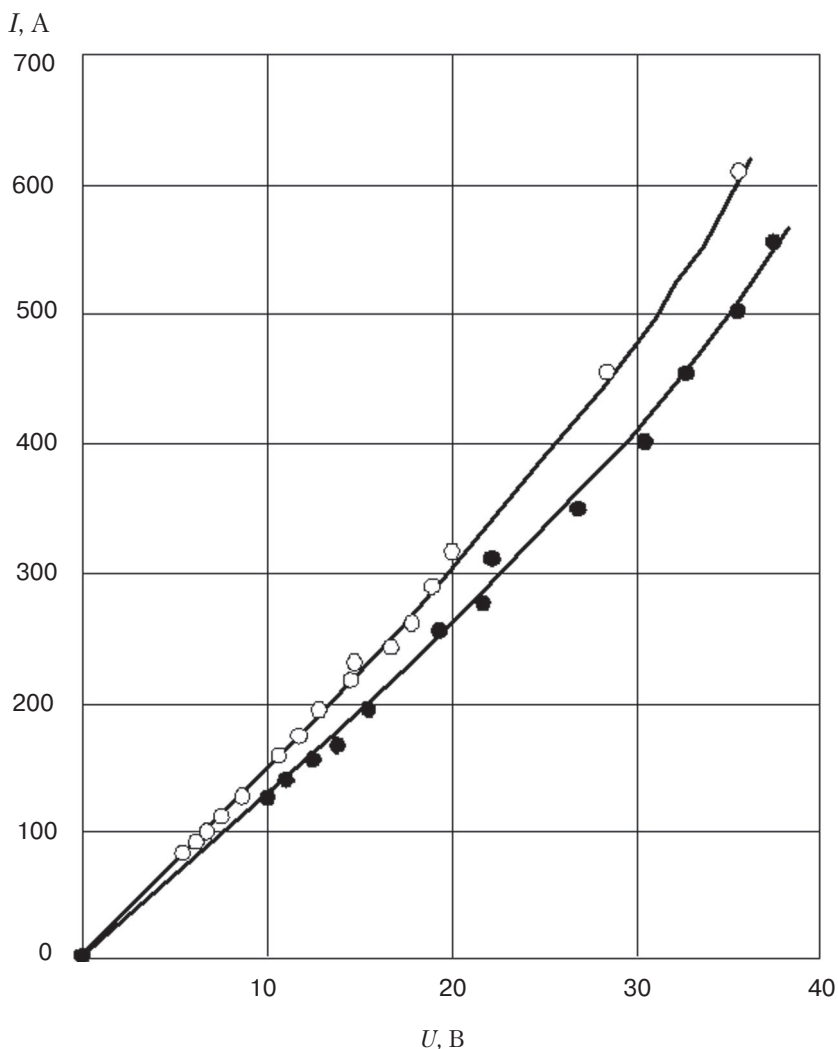


Рис. 5. Вольтамперные характеристики электромагнитов стандартной системы МДН-6А с двумя катушками и макета модернизированной двухзонной магнитодинамической установки с четырьмя катушками, приведенные к напряжению на одной катушке: ● – С-образного электромагнита МДН-6А; ○ – П-образного электромагнита макета магнитодинамической установки

В процессе холостых испытаний электромагнитных систем были выполнены измерения магнитной индукции в середине немагнитного зазора С- и П-образного электромагнитов, что соответствовало индукции электромагнитного поля в рабочих зонах каналов.

Величина магнитной индукции (В) вычислялась на основании определения электродвижущей силы (ЭДС) измерительной катушки датчиком индукции по формуле [4]:

$$B = \frac{E}{2\pi f S \omega},$$

где E – ЭДС, измеренная посередине межполюсного зазора электромагнита, В; f – частота переменной ЭДС, (50 Гц); S – площадь витка катушки датчика, м²; ω – количество витков измерительной катушки.

Для использованного датчика индукции $S \cdot \omega = 10,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ поэтому:

$$B = \frac{E \cdot 10^2}{3,14 \cdot 10,8}$$

Полученные зависимости магнитной индукции в межполюсных зазорах электромагнитных систем представлены на рис. 6. Как видно из рисунка зависимости магнитной индукции в межполюсных зазорах электромагнитных систем (центрах зазоров) от величины электрического тока в катушках тождественны. Небольшое смещение зависимости П-образного электромагнита относительно С-образного связано с незначительным (~5 %) увеличением величины межполюсных зазоров П-образного электромагнита по сравнению с С-образным (см. рис. 3, а, б).

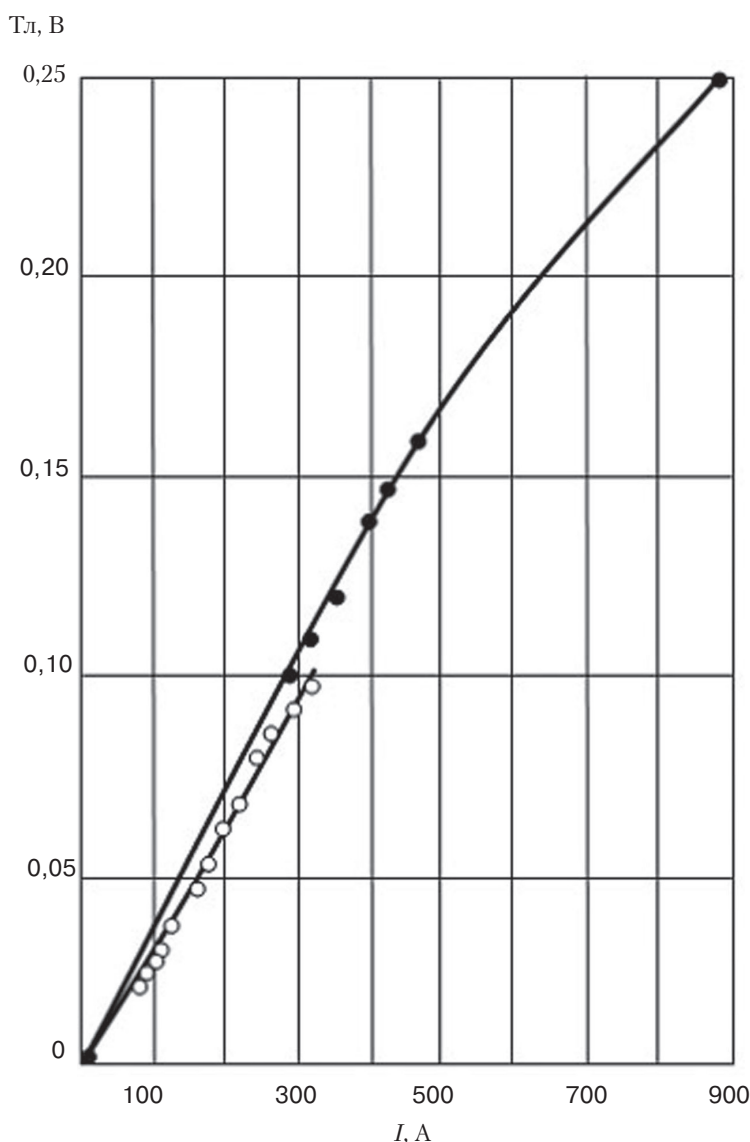


Рис. 6. Зависимости магнитной индукции в центре межполюсных зазоров электромагнитных систем от величины тока в катушках: ● – С-образный электромагнит МДН-6А; ○ – С-образный электромагнит двухзонной модернизированной экспериментальной установки

В процессе снятия зависимостей, представленных на рис. 6, питание катушек электромагнита осуществлялось от стандартного трансформатора магнитодинамической установки МДН-6А, обеспечивающего питание электромагнита с двумя катушками. Так как общее электрическое сопротивление (активное и индуктивное) П-образного электромагнита не менее, чем вдвое, превышает электросопротивление С-образного, то для достижения максимальных электрических нагрузок в системе с П-образным электромагнитом необходим более мощный трансформатор, чем используемый в МДН-6А. При этом в межполюсных зазорах П-образного электромагнита, а значит и в рабочих зонах двухзонной модернизированной экспериментальной установки, будут достигнуты значения величин магнитной индукции, реализуемых С-образным электромагнитом в Т-образной рабочей зоне магнитодинамической установки МДН-6А. Таким образом, максимальное значение напора в модернизированной экспериментальной двухзонной магнитодинамической установке может вдвое превысить наибольшее значение напора, достигнутое в МДН-6А.

Электрический ток и ЭДС измеряли на твердом металлическом витке (медный кабель сечением 50 мм^2) с помощью амперметра с вмонтированным трансформатором тока и милливольтметра (рис. 7).

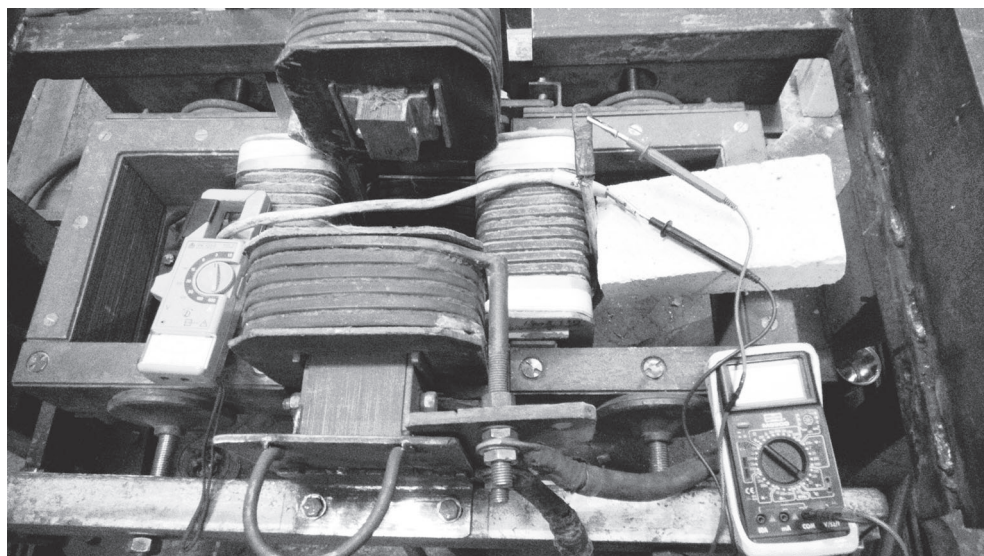


Рис. 7. Измерение величин электрического тока и ЭДС в твердом металлическом витке макета модернизированной магнитодинамической установки с двумя рабочими зонами

Оценку механических усилий, создаваемых в металле электромагнитными системами макета модернизированной магнитодинамической установки с двумя рабочими зонами, проводили с помощью твердого металлического витка из медного кабеля с увеличенным сечением – 150 мм^2 и длиной 3 м. С помощью двух индукторов, идентичных применявшимся в установке МДН-6А, в кабеле (твердый металлический виток) наводили ЭДС величиной 3,16 В, что обеспечивало в короткозамкнутом витке ток величиной 2350 А. На рис. 8 показано перемещение участка медного кабеля, находящегося в центре межполюсного пространства верхней рабочей зоны, при различных значениях индукции в зазоре электромагнита.

Величину силы, действующей на участок медного кабеля в верхней рабочей зоне,

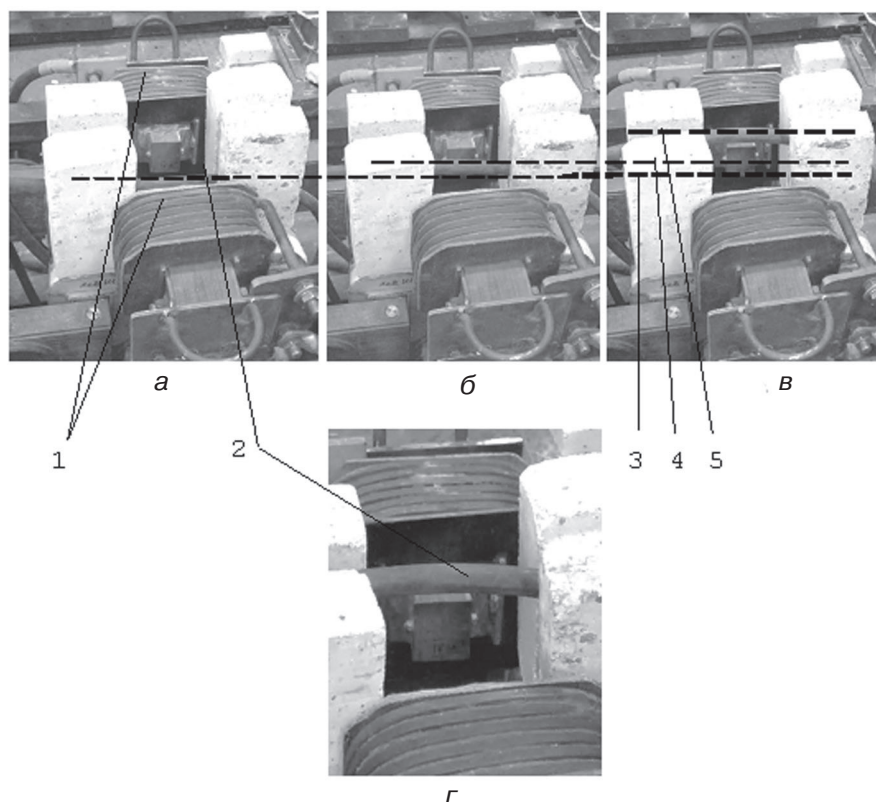


Рис. 8. Положение участка медного кабеля (твердого витка), находящегося в верхней рабочей зоне при разных напряжениях на П-образном электромагните: а – напряжение равно нулю; б – электромагнит включен на среднюю величину напряжения; в – максимальная величина напряжения на П-образном электромагните; г – участок медного кабеля в зазоре электромагнита; 1 – катушки электромагнита; 2 – твердый виток в зазоре электромагнита; 3, 4, 5 – уровни положения твердого витка в зазоре электромагнита соответственно при нулевой, средней и максимальной величинах напряжения на катушках П-образного электромагнита

измеряли с помощью динамометра. Тестовые измерения электромагнитных параметров индукторов и электромагнита модернизированной магнитодинамической установки с двумя рабочими зонами и сил, действующих на твердый металлический виток, показали, что значение силы возрастает пропорционально с увеличением напряжения на катушках электромагнитной системы. Так, при силе тока в витке 2350 А повышение напряжения на катушках электромагнита с 59,5 до 113,5 В привело к возрастанию величины силы в 2,2 раза, а до 142 В - в 2,7 раза. При этом была подтверждена правильность подключения электромагнитных систем к соответствующим фазам напряжения, подаваемого на обмотки индукторов и электромагнита.

Таким образом, результаты проведенных холостых испытаний макета модернизированной экспериментальной двухзонной магнитодинамической установки подтвердили заложенные при конструировании параметры функционирования электромагнитных систем при их электропитании от трансформаторов стандартной магнитодинамической установки МДН-6А. Данные, полученные в процессе холостых испытаний, стали основой для подготовки макета модернизированной экспериментальной установки на базе МДН-6А к горячим испытаниям на жидком алюминиевом сплаве.



Список литературы

1. Возможность повышения электромагнитного давления в двухзонных магнитодинамических установках для литья алюминиевых сплавов / В. И. Дубоделов, В. А. Середенко, В. Н. Фикссен и др. // Процессы литья. – 2016. – № 5. – С. 41-47.
2. Исследование МГД процессов в расплавленном металле при течении в канале с гидравлическим разветвлением / В. И. Дубоделов, В. А. Середенко, А. О. Горшков и др. // Технічна електродинаміка. – 1999. – № 5. – С. 7-12
3. Магнитодинамические насосы для жидких металлов / В. П. Полищук, М. Р. Цин, Р. К. Горн и др. – Киев: Наукова думка, 1989. – 256 с.
4. Панчишин Ю. М., Усатенко С. Т. Измерение переменных магнитных полей. Киев: Техника, 1973. – 140 с.



References

1. *Dubodelov V. I., Seredenko V. A., Fikssen V.N. et al. (2016). Vozmozhnost povysheniia elektromagnitnogo davleniia v dvukhzonnykh magnitodinamicheskikh ustanovkakh dlia litiia aliuminievykh spлавov. [The ability to increase the pressure in the two-band electromagnetic magnetodynamic plants for casting of aluminum alloys]. Protcessy litia, № 5, pp. 41-47.*
2. *Dubodelov V. I., Seredenko V. A., Gorshkov A. O. et al. (1999). Issledovanie MGD protcessov v rasplavlennom metalle pri techenii v kanale s gidravlicheskim razvetvleniem [Investigation of MHD processes in a melted metal at its flow in hydraulic branching channel]. Tekhnichna elektrodinamika,*
3. *Polishchuk V. P., Tsyn M. R, Horn R. K. et al. (1989). Magnitodinamicheskie nasosy dlia zhidkikh metallov. [Magnetodynamic pumps for liquid metals]. Kiev: Naukova dumka.*
4. *Panchishin Yu. M., Usatenko S. T. (1973). Izmerenie peremennykh magnitnykh polei. [Measurement of alternating magnetic fields]. Kiev: Tekhnika.*

Поступила 17.11.2016