

Широкое применение при наплавке бил находят порошковые электроды: порошковые проволоки (ПП-Х12В1Ф, ПП-50Х25Г6Т), трубчатые электроды (ЭТН-1, ЭТН-2), но наиболее эффективными являются порошковые ленты (ПЛ-АН-101, ПЛ-АН-170), которые обеспечивают требуемый химический состав наплавленного металла.

*Акулович Л.М., Миранович А.В. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Беларусь*

## **О СТАБИЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКИ ПРИМЕНЕНИЕМ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ**

Известно [1], что для эффективных воздействий на частицы ферромагнитного порошка при электромагнитной наплавке (ЭМН) и, соответственно, обеспечения благоприятных условий формирования покрытий на упрочняемых поверхностях необходимо равномерное распределение в рабочем зазоре градиента магнитной индукции и величин временных характеристик электромагнитного поля. При этом в процессе ЭМН управляющим воздействием на ферромагнитный порошок в рабочей зоне является внешнее электромагнитное поле, величина индукции которого непостоянна и текущее ее значение  $B_z$  изменяется от нуля до амплитудного значения по закону

$$B_z = \begin{cases} B_m \sin \omega t; \\ 0 \end{cases}, \quad (1)$$

где  $B_z$ ,  $B_m$  – мгновенная и максимальная (амплитудная) величины магнитной индукции в рабочем зазоре, Тл;  $\omega = 2\pi f$  – круговая частота, Гц;  $t$  – текущее время, с. Мгновенное значение  $B_z$  принимает при  $0 \leq t \leq T/2$ , а нулевое при  $-T/2 \leq t \leq T$ , в котором  $T$  – шаг амплитуды.

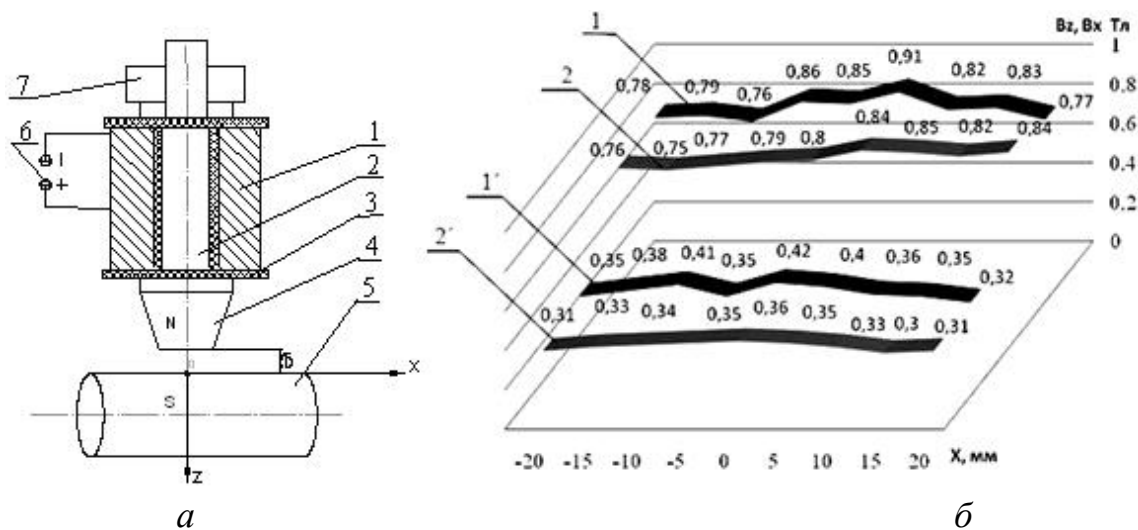
Анализ динамики параметров зависимости (1) при их взаимодействии показывает, что переменная составляющая магнитной индукции оказывает влияние на интенсивность образования цепочек-электродов из частиц порошка и их электрическую проводимость, которая определяет силу технологического тока. В результате – градиент магнитной индукции на отдельных участках рабочего за-

зора изменяется с частотой образования цепочек из частиц порошка, который распределяется в рабочем зазоре хаотично [1, 2].

Произведенный системный анализ технологических схем показал, что используемые на практике магнитные системы устройств ЭМН достаточно сложны в управлении и не в полной мере обеспечивают синхронную во времени работу источников внешнего магнитного поля и технологического тока.

Цель исследований – повышение устойчивости процесса наплавки путем усовершенствования магнитной системы устройства ЭМН. Для изучения влияния временных характеристик внешнего электромагнитного поля на процесс формирования покрытий на поверхности изделия проведены исследования распределения индукции внешнего магнитного поля в рабочей зоне установок ЭМН с электромагнитами. Питание электромагнитных катушек в первом случае осуществлялось от сети переменного тока промышленной частоты, а во втором – от выпрямителя, обеспечивающего частоту магнитного поля 12,5 Гц (рис. 1, а). Измерения выполняли теслаамперметром Ф4354/1 и специальными щупами с датчиками Холла, установленными на краях и в центре рабочего зазора. По изменению величины индукции в различных точках оценивали интенсивность магнитного поля в рабочей зоне. Анализ полученных результатов показывает, что переменные магнитные поля (частотой  $\nu = 12,5$  и 50 Гц, индукцией в рабочей зоне  $B = 0,35–0,9$  Тл) не достаточно однородны (рис. 1, б), что не обеспечивает устойчивое положение цепочек-электродов и дестабилизирует формирование и развитие электродуговых разрядов.

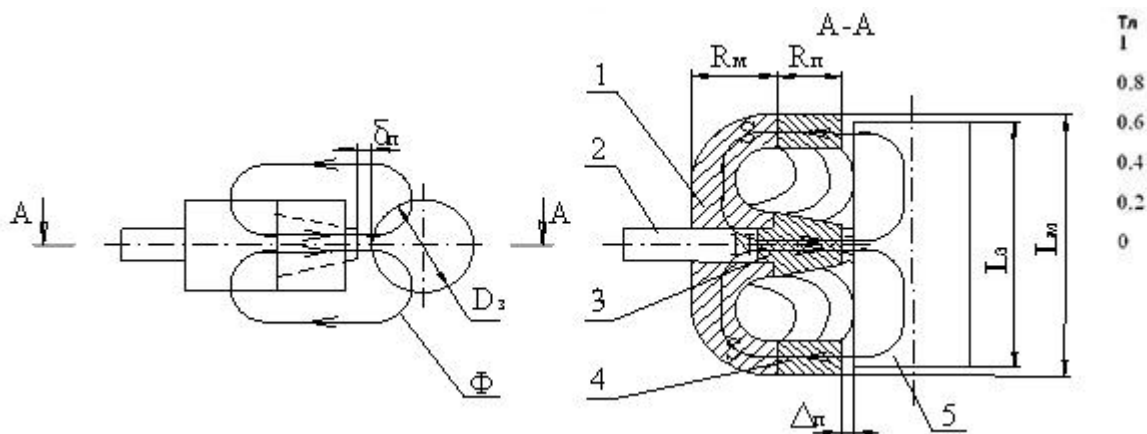
В процессе исследований установлено, что наиболее эффективным методом стабилизации основных технологических параметров ( $B$ ,  $I$ ) и повышения устойчивости ЭМН является использование комбинированных внешних магнитных полей. Для обеспечения стабильности образования в рабочем зазоре цепочек-электродов ферромагнитного порошка предложено применять системы с постоянными магнитами, поле которых в рабочей зоне стабилизирует во времени величину магнитной индукции и, соответственно, позволяет распределить магнитный поток по торцу полюсного наконечника более однородно. Это технологическое решение позволяет отказаться от источника питания электрических магнитов, упростить конструкцию установки ЭМН, исключить необходимость в герметизации катушек от попадания смазочно-охлаждающей жидкости, уменьшить габаритные размеры и массу [3].



**Рисунок 1 – Схема магнитной системы:**

(а) 1 – обмотка, 2 – сердечник, 3 – изолятор, 4 – полюсный наконечник, 5 – изделие, 6 – источник питания, 7 – оправка; (б) диаграммы распределения в рабочем зазоре продольной  $B_z$  (1 и 2) и поперечной  $B_x$  (1' и 2') составляющих магнитной индукции в рабочем зазоре для электрических магнитов с частотой  $\nu=50$  Гц (1 и 1') и  $\nu=12,5$  Гц (2 и 2');  $X$  – расстояние от продольной оси полюсного наконечника

Для этого разработана магнитная система [4], которая состоит из постоянного магнита E-образной формы 1 (рис. 2), к торцевым поверхностям которого примыкают два плоских наконечника 4, установленные с зазором  $\Delta_{\text{п}}$  относительно заготовки 5. Сердечник 2 системы со сменным полюсным наконечником 3 установлены в центральной части магнита с возможностью регулирования величины магнитной индукции  $B_z$  в рабочем зазоре посредством изменения расстояния  $\Delta_{\text{п}}$  между магнитотвердыми материалами (боковыми полюсными наконечниками) и обрабатываемой поверхностью изделия.



**Рисунок 2 – Схема конструкции магнитной системы с разомкнутым магнитопроводом**

При этом величина рабочего зазора  $\delta_{\text{п}}$  остается постоянной, а магнитный поток  $\Phi$ , который проходит по магниту, полюсным наколечникам, рабочим и технологическим воздушным зазорам и заготовке образует замкнутую  $\Phi$ -образную магнитную цепь.

На основании полученных результатов исследований структуры и свойств покрытий можно сделать вывод, что магнитная система устройства ЭМН на основе постоянных магнитов является одним из решений задачи стабилизации технологических параметров процесса и улучшения качества покрытий.

### **Литература**

1. Акулович, Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле. – Полоцк: ПГУ, 1999. – 240 с.
2. Использование постоянных магнитов в устройствах электромагнитной наплавки / Ж. А. Мрочек и др. // Теория и практика машиностроения. – 2004. – № 3. – С. 75–84.
3. Пат. №6547. МКИ В23Н 9/00, С23С 26/00. Устройство для нанесения ферромагнитных покрытий / А. П. Ракомсин и др.; заявл. 19.02.2002 г.; опубл. 30.09.2004 г. // Афіцыйны бюлетэнь. Вынаходствы, карысныя мадэлі, прамысловыя ўзоры.– 2004, №3(42).– С. 122–123.

*Акулович Л.М., Миранович А.В. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Беларусь*

## **ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКОЙ**

Известно [1], что актуальной задачей в ремонтном производстве является повышение надежности и долговечности быстроизнашивающихся деталей машин и механизмов. Одним из приоритетных направлений решения этой проблемы является упрочнение и восстановление рабочих поверхностей деталей способами, использующими высокоинтенсивные источники энергии. К ним относится и электромагнитная наплавка, которая позволяет получить толщину покрытий 0,4–0,8 мм [2]. Применение ЭМН позволяет формировать на рабочих поверхно-