

УДК 621.793

УСТАНОВКА ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

МИРАНОВИЧ А. В., доктора техн. наук, профессора МРОЧЕК Ж. А., КОЖУРО Л. М.

*Белорусский государственный аграрный технический университет,
Белорусский национальный технический университет*

Известно [1], что технологический процесс электромагнитной наплавки (ЭМН) используется для упрочнения и восстановления поверхностей деталей машин в единичном и мелкосерийном производствах. Установка (рис. 1а, б) состоит из следующих элементов: универсального токарно-винторезного станка 1 и сварочного выпрямителя 2 (например модели 1Е61М и ВД-401 соответственно); электромагнитного питателя 3; смесителя, состоящего из бункера-дозатора 4 и спреера 9; пульта управления 5.

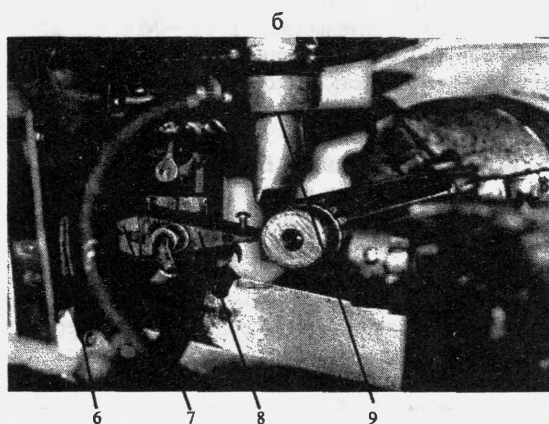
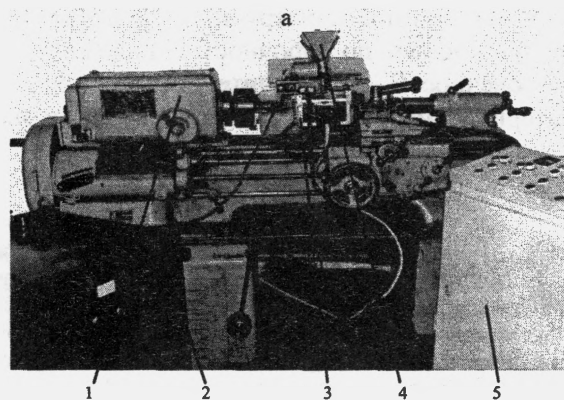


Рис. 1. Общий вид: а – установки электромагнитной наплавки; б – ее рабочей зоны

Электромагнитный питатель включает электрическую (источник технологического тока – сварочный выпрямитель) и магнитную (источник магнитного поля в рабочей зоне – электромагнитные катушки) системы. Установлено [1], что при ЭМН нагрев и плавление ферропорошка происходит за счет электрической энергии. Удержание ферропорошка и формирование цепочек-микроэлектродов в рабочей зоне выполняет магнитное поле. В качестве источника магнитного поля в основном используются электрические магниты 7 (рис. 1а) со сменным полюсным наконечником 8 и намагничивающей катушкой 6. Электромагнитные катушки позволяют получать магнитную индукцию до 1,2 Тл путем изменения величины тока, питающего катушки. Напряжение в обмотках катушки электромагнита составляет 34...40 В, сила тока – 2...5 А, а частота – 50 Гц. Переменный характер магнитного поля вызывает поперечные колебания цепочек-микроэлектродов, тем самым способствуя хаотичному распределению ферропорошка по торцу полюсного наконечника и, как следствие, нестабильному переносу капель расплава на поверхность изделия [2].

Практика использования установок для ЭМН с применением постоянных магнитов позволяет повысить эффективность ЭМН.

Качественные показатели сформированных покрытий (шероховатость поверхности – Ra , пористость – Π , толщина нанесенного покрытия – t и др.) зависят от устойчивого, равномерного заполнения ферропорошком рабочей зоны в процессе ЭМН. Это условие выполняется при определенной величине магнитной индукции

в рабочем зазоре. Так, экспериментально установлено [3], что при обработке валов диаметром более 10 мм необходима величина магнитной индукции 0,5...1,0 Тл, а при наплавке на плоские поверхности – 0,3...0,8 Тл.

Следовательно, основной задачей проектирования магнитной системы электромагнитного питателя является создание оптимальных (по габаритам, массе и стоимости) конструкций, обеспечивающих в рабочей зоне установки ЭМН требуемую величину магнитной индукции. В результате того, что способы расчета параметров магнитной системы имеют некоторые допущения, возникла необходимость проведения экспериментов по исследованию влияния различных систем с постоянными магнитами на распределение индукции в рабочей зоне установок ЭМН.

Авторами предложены методика и последовательность действий при конструировании магнитной системы установок ЭМН на постоянных магнитах:

1) использование экспериментальной установки, позволяющей определять эффективность различных конструкций магнитных систем;

2) специальная программа расчета параметров на персональном компьютере.

С помощью экспериментальной установки определяются оптимальные параметры магнитного поля (распределение магнитной индукции и напряженности в рабочем зазоре) путем вариации различными формами постоянных магнитов (Е-образной, призматической, прямоугольной) и ориентации их полюсов относительно поверхности обрабатываемого изделия. Экспериментальная установка (рис. 2а) состоит из корпуса 1 и основания 2, в направляющих пазах которого устанавливаются постоянные магниты 3 различной формы; сердечника 4 со сменным полюсным наконечником 5; контейнера 6 с ферропорошком 7 и заготовки 8; электродвигателя постоянного тока 9; теслаамперметра 10 и датчиков Холла 11, установленных на краях и в центре рабочей зоны; системы крепления корпуса 12, обеспечивающей расположение установки в горизонтальном и вертикальном положениях.

Результаты проведенных исследований по выбору оптимальной конструкции магнитных систем показывают, что наибольшую концен-

трацию и равномерность распределения магнитного поля в рабочей зоне установки обеспечивает система с Е-образными постоянными магнитами. При этом для обработки деталей типа валов является наиболее целесообразна схема (рис. 2б) с расположением одноименных полюсов под углом 180°, а для обработки плоских деталей – под углом 90°.

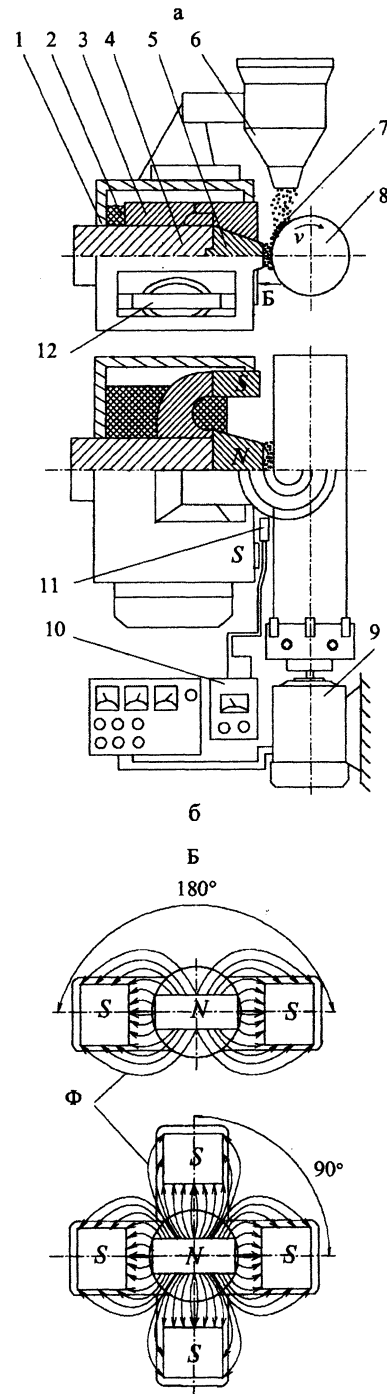


Рис. 2. Схемы: а – экспериментальной установки; б – расположения полюсов относительно поверхностей заготовки

Известно [3], что при аналитическом расчете электромагнитной составляющей рабочей зоны требуется определить величину сопротивлений отдельных участков системы на пути прохождения магнитного потока, в том числе и в самой зоне, где поток проходит по воздуху

$$R_m = R_{ст} + R_v,$$

где $R_{ст}$ – магнитное сопротивление участков стального магнитопровода, 1/Гн; R_v – сопротивление воздушного зазора, 1/Гн.

В этом случае магнитное сопротивление участков стального магнитопровода и воздушного зазора можем записать соответственно

$$R_{ст} = \frac{l}{\mu_{ст} \mu_0 S}; \quad R_v = \frac{\Delta}{\mu_0 S},$$

где l – суммарная длина участков стального магнитопровода, м; $\mu_{ст}$ – относительная магнитная проницаемость стали; μ_0 – магнитная постоянная, $\mu_0 \gg 12,5 \cdot 10^{-7}$ Гн/м; S – площадь поперечного сечения магнитопровода, м²; Δ – длина воздушного участка, м.

Магнитная индукция в рабочей зоне электромагнитной системы может определяться по эмпирической зависимости [3]

$$B_{\Delta} = K_p \frac{I \omega \mu_{ст}}{\mu_{\Delta} \Delta + l},$$

где I – сила тока в электромагнитной катушке, А; ω – количество витков проволоки в катушке; K_p – поправочный коэффициент, учитывающий насыщение магнитопровода.

Для упрощения расчета конструкции магнитной системы, изготавливаемой на основе магнитотвердых материалов, следует принять допущения, что магнитное сопротивление стального магнитопровода отсутствует, магнитное поле плоскопараллельно, а поверхности, между которыми определяются проводимости, эквипотенциальные.

Принимаем, что рабочая зона не заполнена ферромагнитным порошком, а магнитный поток проходит по воздуху в зазоре [4]. Тогда величины индукции и напряженности магнитного

поля в рабочем зазоре определяются по формулам:

$$B_3 = k_3 B; \quad H_3 = \frac{B_3}{\mu_0},$$

где k_3 – коэффициент, учитывающий соотношение величин индукций в середине и центре полюсных наконечников магнита, $k_3 = 1,05 \dots 1,1$.

Длина l_m и площадь нейтрального сечения S_m постоянного магнита представляют основные искомые величины:

$$l_m = \frac{H_3 f \delta}{H_d}; \quad S_m = \frac{B_3 \sigma S_3}{B_d},$$

где f – коэффициент, учитывающий изменение намагничивающей силы в магнитопроводе, стыках и зазорах, $f = 1,1 \dots 1,4$; S_3 – площадь поперечного сечения рабочего зазора, м²; B_d , H_d – индукция и напряженность поля, соответствующие точке $(BH)_{\max}$ кривой размагничивания постоянного магнита; σ – коэффициент рассеяния магнитного потока.

Согласно [4] ориентировочно величину σ принимаем 10...20 для системы армированной полюсным наконечником.

По вычисленным величинам l_m , S_m магнитной системы и на основании результатов экспериментальных исследований потокораспределения в системе, магнитная цепь условно разбивается на ряд участков и рассчитывается проводимость каждого звена магнитной системы (рис. 2а, б). Проводимости рабочего G_v и технологических воздушных зазоров G_t находятся соответственно:

$$G_v = \frac{\mu_0 S_3}{\delta_3}; \quad G_t = \frac{\mu_0 S_t}{\delta_t},$$

где S_t – площадь поперечного сечения технологического зазора, м²; δ_t , δ_3 – длины технологического и рабочего зазоров соответственно, м.

Тогда полная проводимость всех воздушных путей магнитного потока рабочей зоны будет

$$G = G_{\delta} + G_a + G_m,$$

где G_{δ} – проводимости технологического и рабочего зазоров, м; G_a – проводимости отдельных участков арматуры, м; G_m – полная проводимость воздушных путей магнита, м.

Определение величин B_m , H_m (индукция, напряженность постоянного магнита) и B_3 проводилось графически с помощью кривой размагничивания $B_m = f(H_m)$. Строились характеристики полной проводимости магнитной системы k_1 и рассеяния магнита и деталей арматуры с учетом углового коэффициента k_2 соответственно:

$$k_1 = G \frac{l_m}{S_m}; \quad k_2 = (G_m + G_a) \frac{l_m}{S_m}.$$

Устанавливалась величина индукции B_m постоянного магнита на графической зависимости возврата и определялась величина B_3 в рабочем зазоре

$$B_3 = \frac{B_m S_m}{S_3 \sigma}.$$

На основании экспериментальных результатов исследований и с помощью специальной программы на компьютере (язык программирования «Visual Basic 6.0») рассчитывались параметры магнитных систем установок ЭМН на постоянных магнитах. С учетом геометрических размеров обрабатываемого изделия; размеров, формы и материал постоянных магнитов, арматуры и полюсных наконечников; количества полюсов; скорости подачи охлаждающей жидкости, ферропорошка в рабочий зазор. Для примера расчета были использованы параметры: рабочий зазор δ_n – 2,0 мм; материал магнитопровода – отожженная сталь Ст3 (ГОСТ 380–88); диаметр обрабатываемой заготовки 40 мм; материал заготовки – сталь 45 (ГОСТ 1050–88); величина индукции в рабочем зазоре $B_3 = 0,7$ Тл. Для исследуемой конструкции магнитной системы [4] приняли Е-образной форму постоянных магнитов и материал последних – сплав ЮНДК (ГОСТ 17809–72).

Расчет магнитных систем проводили по известной методике [5, 6]. Предварительно вычисляли l_m , S_m магнитной системы и строили картину рассеяния магнитного потока на основании экспериментальных данных потокораспределения в исследуемой конструкции (рис. 26). Затем рассчитывали проводимости каждого звена магнитной системы: постоянного маг-

нита G_m , арматуры магнитопровода G_a , рабочего и технологических зазоров G_δ . Определение действительной рабочей точки графической зависимости размагничивания магнита B_m , H_m с учетом марки материала магнита и магнитопровода, потоков утечки Φ , сопротивления в зазорах и стыках, проводили графическим методом, используя зависимость $B_m = f(H_m)$. После этого определяли напряженность H_3 и индукцию B_3 магнитного поля в рабочем зазоре, а также величину коэффициента рассеяния магнитного поля σ для оптимизируемой конструкции магнитной системы.

ВЫВОД

Анализ полученных результатов расчета составляющих систем с Е-образным магнитом из сплава ЮНДК24Т (ГОСТ 17809–72) показал, что наиболее оптимальной является разомкнутая конструкция магнитной системы, имеющая длину постоянного магнита $l_m = 12,0$ см и площадь нейтрального сечения последнего $S_m = 23,5$ см².

ЛИТЕРАТУРА

1. Технологические основы обработки изделий в магнитном поле / П. И. Ящерицын, Л. М. Кожуро, А. П. Ракомсин и др. – Мн.: Изд-во ФТИ, 1997. – 416 с.
2. Кожуро Л. М., Мрочек Ж. А., Миранович А. В. Повышение эффективности процесса электромагнитной наплавки // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии в машиностроении: Материалы междунар. науч.-техн. конф. // Машиностроение. – 2003. – Вып. 19. – С. 97–100.
3. Кожуро Л. М., Кожуро С. Л. Конструкции магнитных станков для магнитно-абразивной обработки // Современные методы проектирования машин: Расчет, конструирование и технология изготовления. – Мн.: БНТУ, 2002. – Вып. 1, т. 3. – С. 47–52.
4. Постоянные магниты: Справ. / А. Б. Альтман, Э. Е. Верниковский, А. Н. Герберг и др.; Под ред. Ю. М. Пятин. – М.: Энергия, 1980. – 488 с.
5. Арнольд Р. Р. Расчет и проектирование магнитных систем с постоянными магнитами. – М.: Энергия, 1969. – 184 с.
6. Иродов И. Е. Основные законы электромагнетизма: Учеб. пособие для студ. вузов. – М.: Высш. шк., 1991. – 288 с.