

## ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕСС МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ

Л. М. Акулович, А. В. Миранович, А. В. Линник, А. М. Ефимов  
*Белорусский государственный аграрный  
технический университет, Минск*

*Проведены эксперименты по исследованию влияния электромагнитных систем с постоянными и электромагнитами на величину и характер распределения магнитной индукции.*

Известны основные технологические схемы магнитно-электрического упрочнения (МЭУ) деталей типа тела вращения и плоских поверхностей [1, 2]. Приведенные варианты упрочнения имеют свои преимущества и недостатки. Так, использование первой схемы приводит к уменьшению коэффициента использования ферромагнитного порошка до значений 0,70 – 0,78, так как при упрочнении происходит выброс частиц из рабочей зоны вследствие недостаточной синхронизации работы бункера-дозатора с осцилляцией полюсного наконечника и частотой следования импульсов технологического тока [2, 3]. При этом полюсный наконечник в меньшей степени подвержен тепловому воздействию, благодаря чему облегчаются условия (устойчивость, стабильность процесса упрочнения) и ресурс работы. При использовании схемы для плоских деталей формирование упрочненного слоя происходит нестабильно из-за неравномерности подачи ферромагнитного порошка в рабочую зону устройства. Однако данная технологическая схема упрочнения позволяет осуществлять наплавку торцовых и боковых поверхностей изделий одновременно [4].

Известно, что формирование покрытий на поверхности изделий при МЭУ происходит в рабочей зоне – пространстве, ограниченном полюсным наконечником и деталью, в котором образуется многоэлектродная система из частиц ферропорошка в результате воздействия на них электромагнитного поля [2]. Рабочая зона установок МЭУ образуется электромагнитной системой, представляющей собой совокупность источников электрического и магнитного полей с магнитопроводами. В качестве источника внешнего магнитного поля в рабочей зоне, предназначенного для формирования цепочек микроэлектродов при МЭУ, используются электромагниты на выпрямленном или переменном (пульсирующем) токе, которые позволяют получать периодически изменяющуюся во времени величину магнитной индукции [3].

Ранее проведенные исследования [4, 5] показывают, что переменный характер магнитной индукции на границах участков с различным магнитным сопротивлением способствует хаотичному распределению ферропорошка

в рабочем зазоре. В результате градиент магнитной индукции  $\text{grad}\vec{B}$  на отдельных участках рабочего зазора изменяется с частотой образования цепочек из частиц ферропорошка. При этом в момент паузы между двумя последовательными импульсами электромагнитного поля не происходит образование новых цепочек-микроэлектродов в рабочем зазоре, и электродуговой разряд не возникает. Процесс МЭУ идет неустойчиво с короткими замыканиями и одиночным пульсирующим «горением» цепочек порошка в рабочем зазоре. По этой причине важно было дать оценку влияния временных характеристик электромагнитного поля и распределения индукции в рабочем зазоре на процесс формирования покрытий на поверхности изделия.

Для этого проведены исследования распределения индукции внешнего магнитного поля в рабочей зоне установок МЭУ с электромагнитами. Питание электромагнитных катушек в первом случае осуществлялось от сети переменного тока промышленной частоты, а во втором – от выпрямителя, обеспечивающего частоту магнитного поля 0,5 ... 12,5 Гц (рис. 1, а).

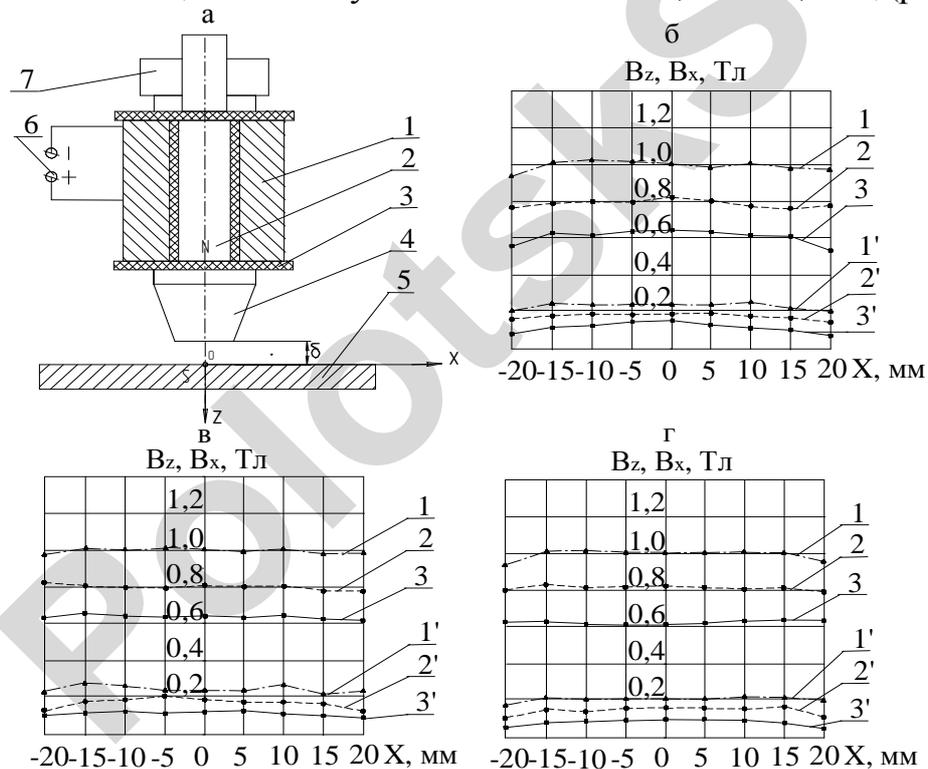


Рис. 1. Электромагнитная система установки МЭУ: а – 1 – обмотка; 2 – сердечник; 3 – изолятор; 4 – полюсный наконечник; 5 – изделие; 6 – источник питания; 7 – оправка; распределение продольной  $B_z$  и поперечной  $B_x$  составляющих магнитной индукции в рабочем зазоре ( $\delta = 2,0$  мм) для электрических магнитов с частотой  $\nu = 50$  Гц; б –  $\nu = 12,5$  Гц; в –  $\nu = 0,5$  Гц; г – при силе тока электромагнитной катушки: 1 – 3,5 А; 2 – 2,5 А; 3 – 1,5 А; X – расстояние от продольной оси полюсного наконечника

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 результатов эксперимента показывает, что знакопеременные магнитные поля (частотой  $\nu = 0,5$ ,  $\nu = 12,5$  и  $\nu = 50$  Гц, индукцией в рабочей зоне  $B = 0,3 \dots 0,9$  Тл) не достаточно однородны (рис. 1, б, в, г), что вызывает поперечные колебания и миграцию не только цепочек-микроэлектродов в рабочем зазоре, но и электродуговых разрядов. При этом процесс наплавки происходит неустойчиво с короткими замыканиями и одиночным пульсирующим горением цепочек ферропорошка в рабочем зазоре.

Для исключения колебаний цепочек-микроэлектродов ферропорошка в рабочем зазоре предложено использовать системы с постоянными магнитами (рис. 2, а) [5, 6]. Это технологическое решение позволяет отказаться от источника питания с переменными или импульсными электрическими магнитами, упростить конструкцию установки ЭМН, исключить необходимость в герметизации катушек от попадания смазочно-охлаждающей жидкости, уменьшить габаритные размеры и массу.

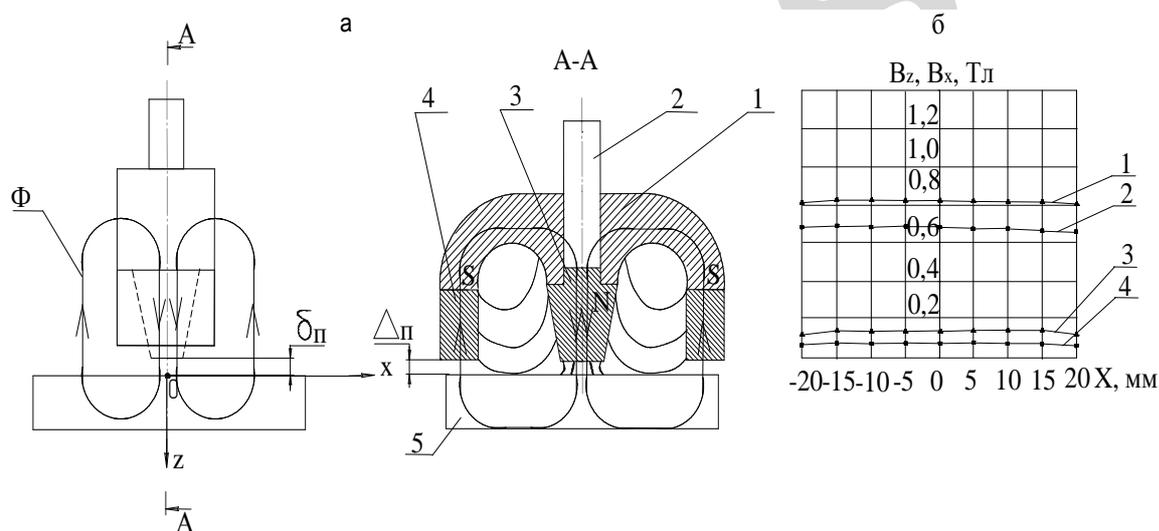


Рис. 2. Магнитная система установки МЭУ: а – 1 – постоянный магнит; 2 – сердечник; 3 – полюсный наконечник; 4 – наконечник; 5 – изделие; б – распределение продольной  $B_z$  и поперечной  $B_x$  составляющих магнитной индукции в рабочем зазоре: 1, 3 – для постоянных магнитов с расположением одноименных полюсов под углом  $90^\circ$ ; 2, 4 – для постоянных магнитов с расположением одноименных полюсов под углом  $180^\circ$ ;  $X$  – расстояние от продольной оси полюсного наконечника

Анализ результатов исследования распределения индукции внешних магнитных полей в рабочей зоне установок МЭУ с постоянными магнитами (рис. 2, б) показывает, что получено более однородное распределение продольной  $B_z$  и поперечной  $B_x$  по торцу полюсного наконечника в рабочем зазоре, чем для переменных или импульсных электрических магнитов.

С целью проверки эффективности разработанной магнитной системы по обеспечению стабильности и устойчивости процесса МЭУ, проведены испы-

тания, которые показывают, что сплошность покрытий увеличилась на 9... 12 %, производительность – на 25 %. Установлено, что в рабочей зоне магнитной системы с магнитотвердыми материалами создается магнитное поле более однородное, чем в системе с электрическими магнитами.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Борисов, Б.П. Исследование и разработка процесса магнитно-электрического упрочнения деталей машин в условиях фазового сдвига активирующих факторов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Б.П. Борисов; ФТИ АН БССР. – Минск, 1983. – 19 с.
2. Ракомсин, А.П. Упрочнение и восстановление изделий в электромагнитном поле / А.П. Ракомсин. Под ред. П.А. Витязя. – Минск : Парадокс, 2000. – 201 с.
3. Акулович, Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле / Л.М. Акулович. – Новополоцк : ПГУ, 1999. – 240 с.
4. Использование постоянных магнитов в устройствах электромагнитной наплавки / Ж.А. Мрочек [и др.] // Теория и практика машиностроения. – 2004. – № 3. – С. 75 – 84.
5. Акулович, Л.М. Повышение качества покрытий при электромагнитной наплавке в постоянном магнитном поле / Л.М. Акулович, А.В. Миранович // Вестник ПГУ. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2008. – № 8. – С. 58 – 65.
6. Миранович, А.В. Повышение ресурсо- и энергосбережения процесса электромагнитной наплавки / А.В. Миранович, Ж.А. Мрочек, Л.М. Кожуро // Тяжелое машиностроение. – 2006. – № 4. – С. 29 – 33.

УДК 621.793

### **РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ И ТИТАНА**

**А. Э. Паршутто, Ю. Г. Алексеев, В. С. Нисс,  
А. Ю. Королёв, Г. Е. Слепнёв**

*Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», Минск*

*Разработана установка микродугового оксидирования алюминиевых и титановых сплавов с системой управления на базе микропроцессора. Разработанная установка позволяет формировать оксидные покрытия с высокими эксплуатационными характеристиками.*

Разработка новых экологически чистых технологий нанесения покрытий для защиты и упрочнения металлических изделий является весьма важной задачей современной техники в связи с ростом требований к условиям применения, специфическим характером применяемых технологических сред и соответствующим повышением требований к конструкционным материалам.

Микродуговое оксидирование (МДО) – прогрессивный вид электрохимической обработки и упрочнения металлических материалов, являющийся