

## СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Спиридонов, Н.В., Кобяков О.С., Куприянов И.Л. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин / Н.В. Спиридонов, О.С. Кобяков, И.Л. Куприянов. – Мн.: Вышэйшая школа, 1988. – 155 с.
2. Веремейчик, А.И. Моделирование напряженно-деформированного состояния ножей установки для измельчения пищевых продуктов при воздействии плазменной дуги / А.И. Веремейчик, М.И. Сазонов, В.М. Хвисевич // Вестник ПНИПУ. Механика. – 2018. – № 3. – С. 5–16.
3. Таблицы физических величин. Справочник. / Под ред. И.К. Кикоина. – М.: Атомиздат, 1976. – 1008 с.

УДК 621.923.7

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКИ ЗА СЧЕТ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

*Миранович А.В.,<sup>1</sup> Мрочек Ж.А.<sup>2</sup>*

- 1) Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь
- 2) Учреждение образования «Белорусский национальный технический университет», Минск, Республика Беларусь

Для упрочнения (восстановления) рабочих поверхностей деталей машин, износ которых превышает 0,1 мм, используется электромагнитная наплавка (ЭМН) специальными пастами, обеспечивающая многослойное нанесение износостойких покрытий [1] из ферромагнитных порошков (ФМП). Наряду с известными преимуществами этого способа [1, 2], существенными дефектами, снижающими износостойкость формируемых поверхностных слоев, является их шероховатость и разнотолщинность [2, 3].

С целью стабилизации толщины наносимого покрытия и уменьшения его шероховатости предложена технологическая схема и разработан модуль для ЭМН с дополнительным технологическим воздействием – поверхностным пластическим деформированием (ППД) [4].

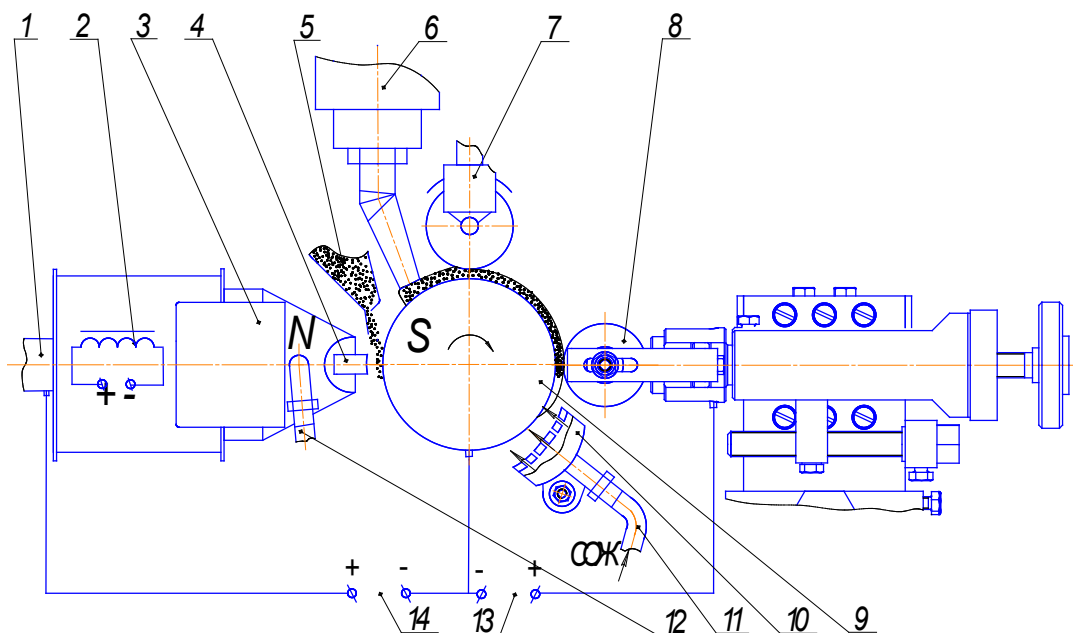
Модуль содержит все необходимые составляющие (рисунок) мехатронной технологической системы: объекты управления (заготовка 9, инструменты 3, 7 и 8, источники энергии 2, 13 и 14), приводы (механизмы перемещения заготовки, инструмента, источника энергии), датчики и управляющие устройства, сопряженные между собой (персональный компьютер, блоки управления инструментом и источником энергии) и систему программного обеспечения.

Для управления стабильностью технологической системы процесса ЭМН с ППД используются критерии, характеризующие электромагнитные потоки: энергетический  $Si$ , магнитного взаимодействия  $Sm$ , напряженности электрического поля  $Se$  и их соотношения:

$$Si = \frac{I^2 R}{\rho V H l^3} = \frac{V}{H'} \cdot \frac{R/l}{\rho V^2} \cdot \left( \frac{I^2}{l} \right); \quad Sm = \frac{IB}{\rho V^2 l} = \frac{B}{\rho V^2} \cdot \frac{I}{l} = \frac{B}{\tau(PV)} \cdot \frac{I}{l};$$

$$Se = \frac{E_1 l^2}{IR} = \frac{E_1}{R/l} \cdot \frac{l}{I},$$

в которых  $V$  – скорость потока;  $H'$  – энтальпия, теплосодержание потока;  $R$  – электросопротивление;  $l$  – характерный линейный размер рабочей зоны;  $\rho$  – плотность потока;  $I$  – сила технологического тока;  $B$  – индукция магнитного поля;  $\tau$  – текущее время;  $P$  – усилие ППД покрытия;  $E_1$  – напряженность электрического поля.



- 1 – сердечник; 2 – источник питания; 3 – электромагнитная катушка;  
 4 – полюсный наконечник; 5 – бункер-дозатор ФМП; 6 – дозатор пасты;  
 7 – ролик прикатывающий; 8 – накатник; 9 – заготовка; 10 – спрейер;  
 11, 12 – трубопроводы подачи СОЖ; 13, 14 – источники технологического тока

Рисунок 1 – Технологический модуль для ЭМН с поверхностным пластическим деформированием

Электромагнитное поле, согласно критерию магнитного взаимодействия  $Sm$ , меняет напряженное состояние покрытия через произведение  $BI$ , управляя магнитными потоками и создавая, в соответствии с критерием напряженности электрического поля  $Se$  через отношение  $E_1/l$ , необходимую разность потенциалов между частицами ФМП, заготовкой и полюсным наконечником. В результате при ЭМН обеспечивается тепловое действие тока  $I^2 R$ , описываемое энергетическим критерием  $Si$ .

Следует отметить, что термодинамические неустойчивости, возникающие

при ЭМН пастами и изменяющие структуры упрочненных слоев, их параметры качества (шероховатость и разнотолщинность, микротвердость) ликвидируются посредством дополнительного воздействия деформирующего элемента при ППД, регулированием и стабилизацией силы технологического тока  $I$  и давления  $P$ .

Современным направлением повышения устойчивости технологических систем является оснащение их средствами адаптации [2, 3]. Для электромагнитной наплавки с ППД такое решение позволяет стабилизировать температурные и силовые параметры, то есть осуществлять управление термическими и механическими воздействиями. В качестве управляемых технологических параметров приняты величина тока  $I$  и усилие пластического деформирования  $P$ .

Так, использование для контроля силы тока электромагнитных датчиков затруднено из-за наличия мощных электромагнитных помех, паров металла, теплового и светового излучения. Поэтому для адаптивного управления тепловым воздействием используются датчики параметров электрической дуги, сигнал от которых поступает в блок сравнения, сравнивается с сигналом от блока расчета. Резкость этих значений обеспечивается усилителями напряжений, тока и обрабатывается окончанным каскадом. При этом интегральное значение тока выдается на преобразователь напряжения в обмотках электромагнитной системы устройства наплавки. Оконченный каскад обеспечивает заданный уровень отдаваемой мощности, анализирует текущее состояние с предыдущими, и не реагирует на импульсный характер тока электрического разряда. Устройство оснащено системой защиты от токов короткого замыкания, включающей адаптер и термоэлемент.

Система автоматического управления усилием деформирования  $P$  состоит из датчика положения, контроллера с аналого-цифровыми преобразователями, пропорционально-интегрально-дифференциальным регулятором, двухфазного усилителя мощности и шагового двигателя.

Адаптивное управление такими основными технологическими параметрами, как величина тока  $I$  и усилие пластического деформирования  $P$  в мехатронной технологической системе для электромагнитной наплавки с ППД позволяет существенно повысить качество нанесенного слоя деталей машин и механизмов, а также снизить затраты на их ремонт и эксплуатацию оборудования, обеспечивающего процесс восстановления и упрочнения.

Для проверки эффективности ЭМН с ППД по обеспечению стабильности и устойчивости процесса упрочнения поверхностей деталей проведены сравнительные испытания [1, 2]. Толщина упрочненных поверхностных слоев определялась по распределению микротвердости; разнотолщинность – по разности максимальной и минимальной местных толщин покрытий образцов. Измерение шероховатости поверхности производилось на профилографе-профилометре Mitutoyo SJ-201P. Износостойкость покрытий определяли при испытании материалов на трение и износ (машина 2070 СМТ-1, схема «диск-колодка») линейным методом.

В результате проведенных исследований установлено, что ЭМН с ППД, позволяет обеспечить устойчивость и стабильность процесса упрочнения, повысить относительную износостойкость на 20%, уменьшить шероховатость покрытия на 25% и получить равномерное по толщине покрытие ( $t = 0,5$  мм).

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Мрочек, Ж.А. Исследование параметров качества покрытий, полученных наплавкой паст в электромагнитном поле / Ж.А. Мрочек, Миранович А.В. // Технология-Оборудование-Инструмент-Качество : материалы 33-ей Междунар. науч.-техн. конференции, 11 апреля 2018 г., г. Минск / Бизнесофсет, 2018. – 182 с. – С. 109–111.
2. Обработка заготовок деталей машин : учеб. пособие / Миранович А.В. [и др.] ; под ред. Мрочека Ж.А. – Минск : Выш. школа, 2014. – 172 с.
3. Хейфец, М.Л. Процессы самоорганизации при формировании поверхностей / М.Л. Хейфец, Л.М. Кожуро, Ж.А. Мрочек. – Гомель : ИММС НАНБ, 1999. – 276 с.
4. Способ нанесения металлических покрытий и устройство для его осуществления : пат. 10307 Респ. Беларусь, МКИ С 23 С 26/00 / П.А. Витязь, Л.М. Кожуро, Ж.А. Мрочек, А.В. Миранович ; заявитель гос. науч. учр. «Институт порошковой металлургии». – № а 20050655 ; заявл. 30.06.05 ; опубл. 28.02.08 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 1 (60). – С. 76–77.

УДК 621.793

### **РАЗРАБОТКА АНТИФРИКЦИОННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ**

*Газбан Задах Э.Х., Соколов И.О., Аминов Б.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Проблема повышения надежности машин и оборудования в условиях интенсификации производства и энерго- и ресурсосбережения ставит задачу создания новых технологических процессов и применения новых материалов.

Повышение износостойкости и коррозионной стойкости, антифрикционных свойств и сопротивления усталости поверхностей трения актуально для различных отраслей техники. Не менее важной является проблема восстановления и упрочнения быстроизнашивающихся деталей, на замену которых ежегодно расходуются сотни миллионов рублей.

Требования к покрытиям, наносимым на быстроизнашивающиеся детали машин и механизмов современной техники, определяются условиями их работы. Основными факторами износа являются: трение, воздействие абразива, наличие химически агрессивных сред, вызывающих коррозию.

В реальных условиях детали работают под воздействием комбинации различных факторов. Согласно результатам большого количества работ в области нанесения износостойких покрытий различными методами и из различных материалов, основными характеристиками, влияющими на их работоспособность, являются: твердость и микротвердость, прочность сцепления покрытия с материалом основы, уровень остаточных напряжений, пористость покрытий, ударная вязкость и склонность к образованию трещин, характер структуры покрытий. Важным условием является однородность свойств покрытия по глубине.