

фуражного зерна 2 на выбранной частоте электромагнитного поля вычисляем глубину его проникновения 3, с тем чтобы определить объем загружаемого сырья 4 в резонаторную камеру. Это позволит оценить удельную мощность СВЧ-генератора 5 двумя способами: 1) если известна полезная мощность источника энергоподвода; 2) если известны плотность и теплоемкость фуражного зерна для определенной скорости нагрева. Эти значения удельных мощностей следует выровнять, варьируя массой загрузки, с одной стороны, и скоростью нагрева, с другой стороны. Затем вычисляем напряженность электрического поля 6, соответствующую этой удельной мощности. Определяем собственную добротность резонатора 7 по предложенной авторами формуле и согласовываем с его объемом 8. Для оценки степени обеззараживания фуражнозерна определяем критическую напряженность электрического поля 11, при которой происходит выравнивание мощности диэлектрического нагрева микроорганизмов 9 и мощности тепловых потерь 10 с поверхности микроорганизма.

### Вывод

Разработана методика термообработки фуражного зерна в поточном режиме за счет многократного комбинированного воздействия экзо-эндогенного нагрева. Методика реализована в СВЧ-индукционной установке с рабочей камерой, образованной цилиндрическими объемными резонаторами и индукционными нагревательными устройствами, расположенной под экранирующим корпусом.

1. Установка для обработки кормового зерна: А. с. 904643 СССР, МКИ А 23 К 1 / 20/ Р. Р. Денисова [и др.]. – № 2969205; заявл. 06.08.80; опубл. 15.02.82 – 3 с.

2. СВЧ-индукционная установка барабанного типа для микронизации зерна: пат. № 2489068 РФ А23N17/00. – № 2012100432; заявл. 16.01.12; опубл. 10.08.13. – Бюл. № 22. – 14 с.

Материал поступил в редакцию 09.04.14.

**Белов Александр Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент  
Тел. 8-352-415-809

**Сторчевой Владимир Федорович**, доктор технических наук, профессор  
Тел. 8 (499) 976-21-50

E-mail: storchevoy@timacad.ru

УДК 502/504:621.79

### А. П. ШНЫРЁВ, П. В. ГОЛИНИЦКИЙ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»  
Институт природообустройства имени А. Н. Костякова

## К ВОПРОСУ ОБ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОМ НАПЕКАНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ НА БРОНЗОВЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

*Приведены способы улучшения напеченного слоя. Дан ряд рекомендаций.*

*Подшипники скольжения, напекание стальных порошков.*

*There are given methods of improving the baked layer. There is given a number of recommendations.*

*Sliding bearing, baking of steel powders.*

При эксплуатации сельскохозяйственных и мелиоративных машин неизбежно возникают неисправности и отказы, связанные с тяжелыми условиями работы. Для предприятий, обладающих ограниченным парком техники, выход из строя одной машины может привести к срыву запланированных видов работ и значительному увеличению экономических потерь.

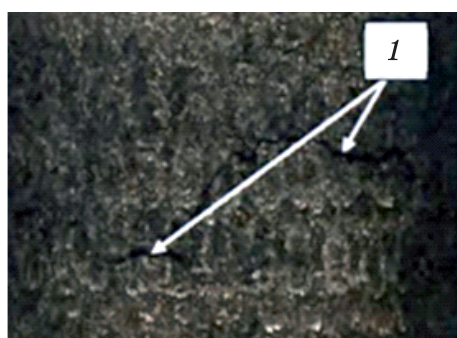
В большинстве случаев основной при-

чиной выхода из строя деталей и узлов сельскохозяйственной и мелиоративной техники является износ сопрягаемых поверхностей. При разработке ремонтной технологии особое внимание уделяют повышению износостойкости восстанавливаемых деталей по сравнению с новыми.

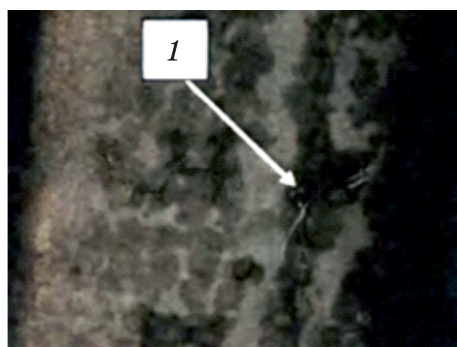
В последние годы для восстановления поверхностей тел вращения применяется электроконтактное напекание. Существует

несколько способов восстановления электроконтактным напеканием, из которых наибольшую распространенность благодаря своей простоте получили напекание металлических порошков и приварка ленты. В настоящее время разрабатываются технологии восстановления бронзовых подшипников скольжения при помощи нанесения стальных материалов, в которых особое внимание уделяется именно этим двум технологиям.

После проведения литературного обзора было выяснено, что наибольшую трудность при проведении восстановления бронзовых подшипниковых втулок стальными материалами вызывает различная температура плавления бронзы и железа. Для преодоления этого фактора в технологиях приварки металлической ленты к бронзовым поверхностям предлагается увеличивать силу тока или длительность его протекания [1]. Однако в местах приварки могут возникать микротрещины, обусловленные различной величиной деформации и интенсивности релаксации при охлаждении (рис. 1а). Во время проведения последующей механической обработки данные трещины увеличиваются, что приводит к уменьшению ресурса восстановленной детали (рис. 1б).



а



б

Рис. 1. Микротрещины (1–1) в стальной ленте [2]: а – после электроконтактной приварки; б – после электроконтактной приварки и последующего шлифования

Тщательный подбор и контроль режима во время приварки ленты увеличивают трудоемкость процесса восстановления детали и ограничивают практическое применение данной технологии. Как показал литературный анализ, практически отсутствует информация по напеканию металлических порошков на изношенные бронзовые поверхности подшипников скольжения. В связи с этим дальнейшие исследования авторы проводили с целью изучения возможности применения стальных порошков для восстановления бронзовых втулок [3, 4].

Для проведения исследований были выбраны втулки, изготовленные из Бр05Ц5С5. Марки и состав порошков, применяемых для напекания, представлены в таблице.

**Марки и химический состав напекаемых порошков**

Марка порошка	Fe	Cr	Ni
ПХ-23Н18	Основа	23	18
ПХ-17Н2	Основа	17	2
ПХ-30	Основа	30	≤0,30

Продолжение таблицы

Марка порошка	C	O	S	Ca
ПХ-23Н18	≤0,08	≤0,30	≤0,02	≤0,15
ПХ-17Н2	≤0,12	≤0,35	≤0,02	≤0,20
ПХ-30	≤0,30	≤0,30	≤0,01	≤0,20

Напекание стальных порошков проводили на машине точечной сварки МТ-1618 УХЛ4, данные температурных режимов снимали инфракрасным термометром «Кельвин-Компакт 1300», после чего в режиме реального времени они передавались на компьютер. Программа Regis 2008 позволяет следить за температурой и временем проведения эксперимента. Для проведения наплавки втулку помещали в специально изготовленный корпус, схема которого представлена на рис. 2.

В результате проведенных установочных экспериментов, необходимых для более детального изучения проблемы напекания стальных порошков на бронзовую втулку, было выяснено, что

оксидная пленка, покрывающая гранулы порошка, препятствует прохождению электрического тока. Вследствие этого электрический ток начинает проходить не через слой металлического порошка, а через бронзовую втулку, что приводит к ее расплавлению при температурах, необходимых для частичного расплавления металлического порошка и припекания его к бронзовой поверхности.

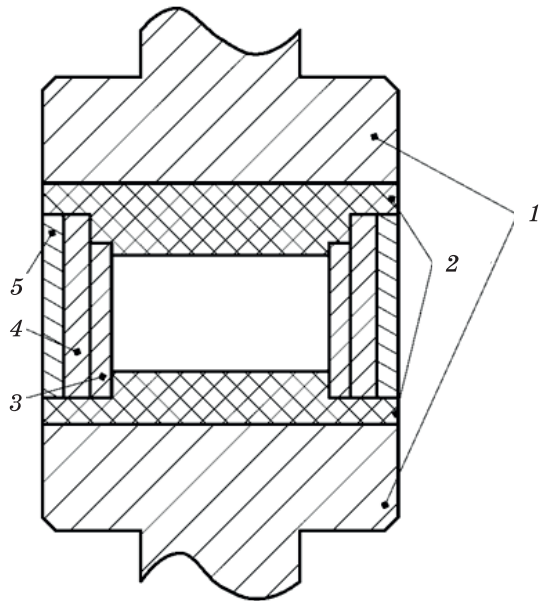


Рис. 2. Схема элетроконтактного напекания стального порошка на бронзовую втулку: 1 – электроды; 2 – токопроводящие прокладки; 3 – бронзовая втулка; 4 – стальной порошок; 5 – кожух

Для решения данной задачи провели дополнительные эксперименты. С целью улучшения результатов спекания были применены следующие методы:

1 – изолирование бронзовой втулки;

2 – введение в состав порошка токопроводящих элементов;

3 – использование раскисляющих флюсов для снятия оксидной пленки в напекаемых порошках;

4 – использование наружной токопроводящей оболочки.

Для изолирования втулки применяли термоустойчивую краску, которая была нанесена на торцы втулки. Проведенные эксперименты с различными усилиями сжатия электродов, силой и

длительностью тока не привели к улучшению структуры напекаемого слоя, что свидетельствует о высокой степени окисления стальных порошков.

Для улучшения проводимости напекаемого слоя приняли решение ввести в состав металлического порошка графитовый порошок. В ходе экспериментов было установлено, что введение графитового порошка до 5 % от общей массы смеси не сказывается на спекаемости, а при увеличении содержания графитового порошка до 10 % наблюдалось увеличение проводимости в напекаемом слое. В то же время значительное число частиц графита препятствует образованию монолитной структуры железа в напеченном слое. В результате проведенных экспериментов было установлено, что эффект от введения графита не зависит от марки напекаемого порошка, а также не приводит к созданию монолитной структуры в напеченном слое.

Для увеличения проводимости был использован активный флюс-раскислитель, в состав которого входило 750 мл 10% -го HCl с добавлением 300 г  $ZnCl_2$  и 150 г  $NH_4Cl$ . Флюс добавляли послойно при укладке порошка перед началом эксперимента. Благодаря добавлению флюса-раскислителя происходит разрушение оксидной пленки, что способствует значительному улучшению качества напеченного слоя. К сожалению, из-за высокой температуры плавления напекаемых металлических порошков происходит расплавление самой втулки.

Для уменьшения температурного воздействия на бронзовую втулку было принято решение использовать наружный токопроводящий кожух, изготовленный из стальной трубы, с внутренней стороны покрытой термоустойчивой краской для предотвращения нежелательного припекания стального порошка к ее поверхности.

Благодаря применению стальной токопроводящей оболочки значительно уменьшилось оплавление бронзовой втулки, но из-за неравномерного нагрева и резкого охлаждения не удалось добиться необходимой сцепляемости напеченного слоя с бронзовой втулкой (рис. 3).

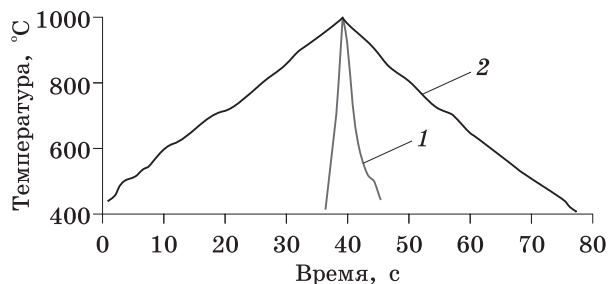


Рис. 3. Сравнение скорости нагрева и охлаждения при использовании стальной (1) и графитовой (2) оболочек

После улучшения существующих методов напекания порошков было принято решение использовать токопроводящий кожух, изготовленный из графита. Применение графита значительно улучшило равномерность нагрева и плавность процесса охлаждения, но из-за длительного сохранения высокой температуры произошло оплавление бронзовой втулки.

Для предотвращения оплавления втулки во время напекания решено было изменить форму нижнего электрода таким образом, чтобы улучшить охлаждение бронзовой втулки, не затрагивая напекаемый порошок. Также для уменьшения теплообмена графитовой оболочки с бронзовой втулкой в качестве изолятора был использован асбест (рис. 4). Использование данного электрода привело к уменьшению оплавления бронзовой втулки во время напекания стального порошка.

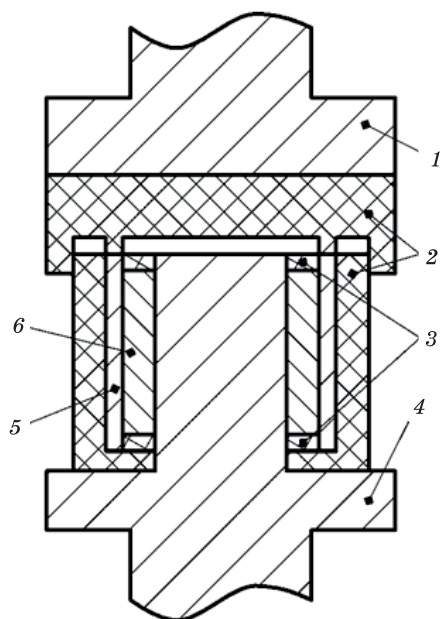


Рис. 4. Схема электроконтактного напекания

кания стального порошка на бронзовую втулку при использовании графитовой оболочки и измененной формы электрода: 1 — верхний электрод; 2 — графит; 3 — асбест; 4 — нижний электрод; 5 — стальной порошок; 6 — бронзовая втулка

### Выводы

Использование графитовых компенсаторов значительно увеличивает плавность нагрева и охлаждения бронзовой втулки, что способствует улучшению структуры напекаемого слоя и его припеканию к бронзовой поверхности.

Использование специального электрода, повышающего охлаждение втулки, предотвращает расплавление втулки во время процесса напекания.

1. Леонидас Дуилио Рамос Родригес. Восстановление бронзовых втулок пластической деформацией с электроконтактной приваркой стальной ленты: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. — М.: МАДИ, 1995. — 160 с.

2. Бурак П. И. Интенсификация электроконтактной приварки лент при восстановлении деталей: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.03. — М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2012. — 518 с.

3. Бирюков В. В. Восстановление бронзовых деталей машин порошками из цветных сплавов электроконтактным напеканием: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03. — М.: МГАУ, 2005. — 144 с.

4. Рожкова Т. В. Формирование структуры и свойств материалов на основе меди с карбидом кремния при электроконтактном спекании: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01, 05.16.06. — Тюмень: ТГСХА, 2004 — 127 с.

Материал поступил в редакцию 15.03.14.  
**Шнырёв Анатолий Павлович**, кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология металлов и ремонт машин»  
 Тел. 8 (499) 976-21-61  
**Голиницкий Павел**, аспирант  
 Тел. 8-906-707-92-99