

3. Факторы учета сбора в стоимости урожая оказывают большее влияние на продолжительность проведения работы, чем изменение стоимости агрегата.

4. Оптимальный срок уборки данной культуры будет сокращаться при повышении производительности уборочных машин ( $W_d$ ), использовании их на уборке других культур (величина  $\gamma$  – доля использования машины на уборке данной культуры по отношению к общему времени использования в году и при снижении балансовой стоимости машин).

5. Чем универсальнее машина, то есть чем меньше доля ее применения на данном процессе по сравнению с общей продолжительностью ее использования в году, тем короче экономический оптимальный срок ее применения на данном процессе.

6. Повышение урожайности сельскохозяйственных культур, товарной цены на продукт урожая, производительность комбайнов, коэффициента сменности, снижение стоимости машин при их массовом производстве – факторы, позволяющие сократить сроки уборки и снизить издержки производства зерна.

7. Следует отметить, что существующие нормативы загрузки машин принимались с учетом сопоставления стоимости потерь продукции при невыполнении оптимальных сроков полевых работ, когда и стоимость машин в себестоимости продовольствия была не высокой. Назрела проблема реализации мер по увеличению продолжительности использования агрегатов в течение года.

8. Необходимо пересмотреть нормативную базу при расчете парка машин – годовую нагрузку на зерноуборочный комбайн следует определить продолжительностью уборочного цикла не 12-15 суток, а в пределах 25-40 суток, посевных машин – соответственно, не 5-8 суток, а 15-20 и т.п.

#### Библиографический список

1. Окунев Г.А. Поточно-цикловая технология уборки зерновых культур: учебное пособие. – Челябинск, 2003. – 110 с.

2. Саклаков В.Д. Потенциал производственных процессов в растениеводстве и разработка методов его эффективного использования: научный доклад на соискание уч. ст. д-ра техн. наук. – Челябинск, 1990. – 44 с.

3. Терских И.П., Овчинникова Н.И., Вильчинский В.М. Надежность процесса уборки зерновых прямым комбайнированием. – Иркутск: ИГСХА, 2002. – 360 с.

4. Михлин В.М., Разумов А.Н. Методика оптимизации и нормативы коэффициента готовности машин в зависимости от вида работы, потенциальной урожайности и других факторов, – М., 2003. – 39 с.

5. Завора В.А. Машинно-технологические станции – генератор подъема экономики села // Вестник алтайской науки. – 2001. – № 2. – С. 135-138.

6. Савин И.Г. Повышение интенсивности и экономичности эксплуатации МТП машинно-технологических станций в АПК: монография. – Краснодар, 2003. – 227 с.



УДК 631.3:621.791.052(075):541.42/.428.4 В.М. Коротких



### ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ЭЛЕКТРОСВАРКОЙ

**Ключевые слова:** энергоэффективные технологии, ремонт сельхозтехники, электросварка плавлением, самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС).

#### Введение

В технологических процессах ремонта сельскохозяйственной техники для получения неразъемного сварного соединения

металлических деталей широко используется сварка плавлением. Подведенная в место нагрева энергия должна расплавлять кромки частей деталей и создавать общую сварную ванну. Из-за простоты и широкого спектра применения сварки на сервисных предприятиях сельхозтехники наиболее предпочтительным является способ ручной дуговой сварки металлов пла-

вящимся металлическим и электродом в обмазке (ММАW). Обмазка электрода при ее плавлении обеспечивает защиту сварного шва от окисления, дополнительное легирование металла, а также стабилизацию горения дуги. В качестве источника питания для ММАW обычно используют сварочный генератор, выпрямитель, или сварочный трансформатор [1]. Несмотря на универсальность, простоту и доступность основным недостатком описанного способа является существенный расход электроэнергии вследствие большого рабочего тока и обязательного наличия мощного с падающей вольт-амперной характеристикой (ВАХ) источника питания сварной дуги, что делает невозможным использование данного способа на предприятиях с малой энергоресурсоемкостью или в полевых условиях.

Также можно получить сварное соединения материалов, преимущественно тугоплавких и разнородных, с использованием энергии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [2]. Такая сварка основана на взаимодействии реагирующих порошкообразных компонентов экзотермической смеси, расположенной в зазоре между соединяемыми элементами, предпочтительно, в режиме теплового взрыва [3]. Для осуществления этого способа в зазоре свариваемых деталей размещают экзотермическую смесь и производят её нагрев в течение 6-8 сек. электрическим током или высокочастотным полем для инициирования реакции СВС и материалов сварного шва одновременно во всём объёме смеси. Этот способ решает задачу снижения затрат электроэнергии в процессе сварки, но имеет и недостатки: отсутствие возможности регулирования подводимой энергии в процессе получения сварного соединения и остановки процесса при фронтальном горении, трудности получения неразъемного соединения с вертикальными, наклонными и потолочными швами, поскольку порошок реагирующей экзотермической смеси не удерживается в разделке кромок.

Цель данной работы – создание теоретических принципов активного управления экзотермическими процессами синтеза наплавочных материалов и получение высокого энергетического эффекта при образовании сварного соединения материалов для технологий ремонта сельскохозяйственной техники.

### Используемые методы и приемы

Уменьшение энергопотребления ММАW – технологий соединения металлов достигается при использовании теплового эффекта экзотермических превращений исходных компонентов во время протекания СВС [4].

Повышение энергоэффективности технологий ремонта и восстановление сельскохозяйственной техники достигается за счет управления процессом при использовании различных композиций и инертных, варьирования начальных условий, энергии активации, воздействий электрического тока [4].

Высокое качество, надежность и увеличение срока службы обеспечиваются за счет формирования на их рабочей поверхности прочной и износостойкой структуры [5, 6].

### Экспериментальная часть

Влияние энергетических воздействий на теплофизические параметры процесса исследовали на оригинальном экспериментально-измерительном комплексе (рис. 1). В качестве основного объекта исследований выбрана обмазка, закрепленная с помощью жидкого стекла на стальном электроде-1, в состав которой входит экзотермическая смесь компонентов, вступающих реакцию СВС друг с другом, и разбавленная инертном для самопроизвольного затухания синтеза при отсутствии электроразогрева.

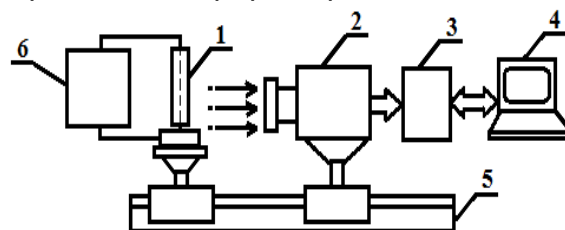


Рис. 1. Схема

экспериментально-измерительного комплекса:  
1 – электрод в обмазке с СВС-компонентами;  
2 – фотодатчик; 3 – аналого-цифровой преобразователь; 4 – микро-ЭВМ;  
5 – оптическая скамья; 6 – источник тока

Экзотермическая смесь представляла собой варианты: смесь металлов IV, V групп периодической системы элементов с бором или углеродом, смесь никеля с алюминием и смесь окалины железа и алюминия.

Для компьютерной обработки результатов экспериментов в состав комплекса входит виртуальный USB – аналого-цифровой преобразователь (АЦП) VM8220 3, управляемый микро-ЭВМ 4.

Технические характеристики АЦП-ВМ8220

Осциллограф	
Количество каналов	2
Частота дискретизации	100 Гц ... 200 кГц
Чтение через буфер	1126 отсчетов/канал(1 канал), 563 отс/кан (2 канала)
Потоковое чтение	64К отсчетов/канал (1 и 2 канала)
Входное напряжение	-20...+20 В (аппаратно 2 поддиапазона)
Разрядность АЦП	10 бит. Абсолютная (по нарастающему/спадающему фронту), дифференциальная (по разнице между соседними отсчетами)
Синхронизация	Внешняя (по нарастающему/спадающему фронту ТТЛ уровни)
Оконные функции	Хамминга, Ханнинга, Блэкмана, Блэкмана-Харриса
Самописец	
Частота дискретизации	0,01 Гц ...200 кГц
Максимальное время записи	24 ч при $F_d < 100$ Гц
Входное напряжение	-20...+20 В (аппаратно 2 поддиапазона)
Разрядность АЦП	10 бит

Технические характеристики АЦП в режиме осциллографа и самописца приведены в таблице 1.

Первичные преобразователи – 2 фотосигнала – фотодиоды (ФД) были установлены в аналоговый электроизмерительный тракт, схема которого приведена на рисунке 2 [7]. Включение ФД на инверсный вход интегрального операционного усилителя серии К140УД17 с заданными параметрами  $K_U = 100$  при  $R_H = 20$  кОм,  $R_{вх1} = R_{вх2} = 2$  кОм,  $R_{ос} = 200$  кОм и входными характеристиками  $S_1 = 17$  мА/лм,  $I_y = 10$  мкА,  $V_{п} = 12,6$  В,  $R_{H\max} \leq 2 \cdot 10^4$  Ом при  $\Phi_{\max} = 0,035$  лм позволило получить максимальную чувствительность фотодатчика  $S_{v\max} = S_1 R_{H\max} = 340$  В/лм.

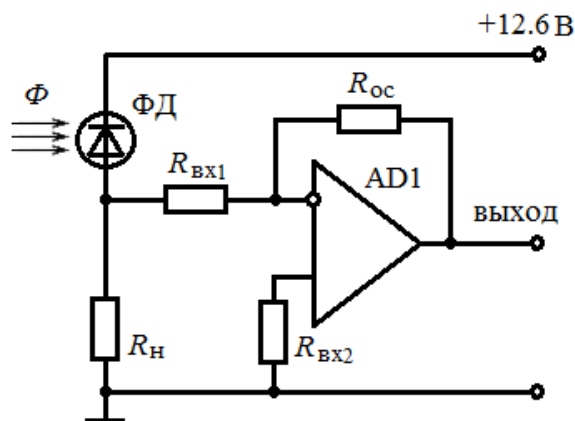


Рис. 2. Аналоговый преобразователь фотосигнала

10-разрядный АЦП в измеряемом интервале напряжений от 0÷20В с частотой дискретизации  $f_d = 200$  кГц обеспечивал, соответственно, диапазон регистрируемых оптических величин 0÷ $5,9 \cdot 10^{-2}$  лм с шагом дискретизации  $\Delta\Phi = 5,9 \cdot 10^{-5}$  лм.

Калибровка температурных яркостей определялась по вольфрамовой эталонной лампе ТРУ 1100/2350, изготовленной и сертифицированной на харьковском заводе «Эталон» [8].

Обработку и анализ получения экспериментальных данных осуществляли с помощью стандартного пакета программ DISCO.

### Результаты эксперимента и их обсуждения

Экзотермическая реакция СВС нулевого порядка в зависимости от условий осуществляется двояким образом. Она может протекать с малой скоростью и небольшим разогревом, то есть в стационарном режиме (I), так как теплоприток от реакции компенсируется теплоотводом в окружающую среду и компоненты системы, не вступающие во взаимодействие. Однако при изменении внешних условий возможен переход системы к нестационарному режиму, когда теплоприток от реакции превышает теплоотвод. Скорость и температура реакции в этом случае возрастают по экспоненциальному закону, что может привести к тепловому взрыву (II). Переход от режима I к режиму II во многих СВС системах происходит уже при незначительном изменении внешних условий. А так как для реакций нулевого порядка скорость не зависит от степени превращения вещества, а зависит только от температуры, то изменение температуры СВС-систем за счет введения инертов и электроразогрева является управляющим фактором, так как приводит к смене тепловых потоков, а следовательно, и режимов СВС (рис. 3).

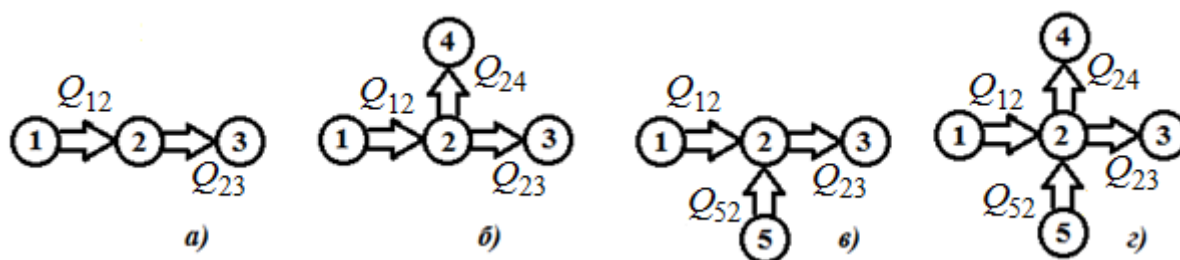


Рис. 3. Схемы тепловых режимов в СВС-системах с протеканием реакции "0" порядка: а – без внешних и внутренних энергетических воздействий; б – с инертом; в – с электрическим разогревом; г – с инертом и электрическим разогревом

Проведем некоторые математические выкладки для таких СВС-систем. Полагая, что удельная теплоемкость  $c$  и коэффициент теплопроводности  $\lambda$  в пределах элементарной реакционной ячейки постоянны. Тогда количество тепла, подводимое к ячейке 2 (рис. 3а, 4), определяется по закону Фурье:  $q = -\lambda dT/dn$ .

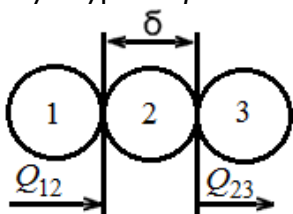


Рис. 4. Тепловые потоки  $Q$  реакционной ячейки 2

Так как размер реакционной ячейки  $\delta$  достаточно мал, то можно выразить  $q$  через конечные разности:  $q = -\lambda \Delta T / \delta$  [9]. Для режима фронтального СВС, допуская, что ширина фронта горения равна ширине зоны разогрева  $\delta$ , а отводимое тепло  $Q_{23}$  вдоль фронта горения пренебрежительно мало, имеем общее количество проводимого тепла из зоны реакции за конечное приращение времени  $\Delta t$  через конечную площадь:

$$Q_{12} = \lambda \Delta t F (T_{\max} - T^*) \frac{1}{\delta}, \quad (1)$$

где  $T_{\max}$  – максимальная температура реакции в момент времени  $t$ ;

$T^*$  – характерная температура шихты в момент начала реакции ( $t + \Delta t$ );

$F$  – теплопроводящая площадь во фронте горения.

Изменение внутренней энергии в зоне разогрева до момента ( $t + \Delta t$ ), т.е. до температуры начала реакции:

$$U = c \rho V (T^* - T_t), \quad (2)$$

где  $T_t$  – начальная температура шихты в зоне разогрева в момент времени  $t$ ;

$c$  – удельная теплоемкость;

$\rho$  – плотность шихты;

$V$  – объем зоны разогрева.

$$Q_{52} = W \Delta t. \quad (3)$$

С учетом (3) электрического разогрева зоны реакции мощностью  $W$  за время  $\Delta t$  тепловой баланс реакционной ячейки можно записать как

$$U = Q_{12} + Q_{52}. \quad (4)$$

Подставив в (4) формулы (1), (2) и (3), окончательно имеем

$$c \rho V (T^* - T_t) = W \Delta t + \lambda \Delta t F (T_{\max} - T^*) / \delta.$$

Время для тепловой индукции от энергетического воздействия примет вид

$$\Delta t = \frac{c \rho V (T^* - T_t)}{W + \frac{\lambda F}{\delta_p} (T_{\max} - T^*)}. \quad (5)$$

Анализируя уравнение (5) с учетом того, что  $T_t = T_0 + \frac{Wt}{c \rho V}$ , имеем возможность

увеличения начальной температуры реакции в диапазоне от  $T_0$  до  $T_t$ , где  $T_0$  – начальная температура процесса в момент времени  $t = 0$ . Можно утверждать, что каждая  $n$ -я реакция имеет увеличение начальной температуры на  $T_m = n \Delta T_t$  или

$$T_m = n \frac{W \Delta t}{c \rho V}, \quad \text{где } \Delta t = t_n - t_{n-1}.$$

Таким образом, нестационарную задачу можно представить как последовательность стационарных задач с разными начальными условиями [10], а нагрев реакционной смеси во время синтеза позволяет заменить серию статических экспериментов на единственный – динамический (табл. 2) [11].

Нами была проведена серия экспериментов с различной начальной температурой процесса для экзотермической смеси Ni-Al (табл. 2).

Полученные зависимости скорости распространения фронта горения от начальной температуры реакции, т.е.  $V_{\phi}$  от  $T_t$  для этой системы изображены на рисунке 5.

Скорость фронта горения от начальной температуры

№ опыта	Начальная температура $T_0$ , К	Скорость фронта горения $V_{\phi}$ , см/с
1	310	0,5
2	440	1,65
3	555	2,85
4	640	3,9

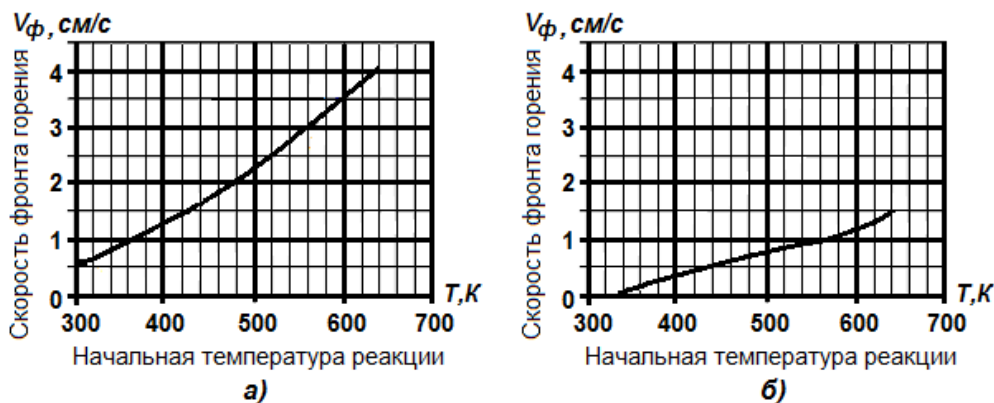


Рис. 5. Экспериментальная зависимость скорости распространения фронта горения от начальной температуры:

а – с электрическим подогревом; б – с инертном и электрическим подогревом

Из рисунка 5 следует, что время тепловой индукции (рис. 3в, г) уменьшается с увеличением мощности электродогрева и начальной температуры реакции  $T_+$ . Уменьшение максимальной температуры  $T_{\max}$  при разбавлении компонентов инертном (рис. 3б, г) приводит к увеличению периода разогрева, а следовательно, к уменьшению скорости фронта горения (рис. 5).

Для практической реализации энергоэффективной технологии ремонта и восстановления сельскохозяйственной техники сваркой выбирается тепловая модель (рис. 3г), которая является основной для технологии MMAW со стальным электродом, в обмазке которого содержится экзотермическая смесь СВС-компонентов и инерта. В качестве СВС-компонентов можно взять, например, окалину железную ( $Fe_3O_4 \cdot FeO$ ) и мелкодисперсный порошок алюминия (Al), а в качестве инерта – порошок железа ПЖ-1 ГОСТ9849-74 в объеме 2-3 г/см<sup>3</sup> [4]. В качестве инициатора СВС используется источник питания с возможностью регулирования величины постоянного тока и угла наклона ВАХ.

После возбуждения электрической дуги между электродом и восстанавливаемой деталью компоненты экзотермической смеси вступают в химическое взаимодействие с образованием дополнительного тепла и износостойких продуктов (чугун, шпинель,  $Fe_2O_3 \cdot Al_2O_3$  и др.). В процессе экзотермической реакции и электродугового разряда выделившееся тепло расплавляет стальной электрод и поступает в

зону разогрева синтезируемой смеси, возбуждая в ней фронтальный СВС. При отсутствии электрической дуги между электродом и свариваемыми металлами СВС самопроизвольно затухает из-за уменьшения количества тепла в зоне реакции, так как его часть поглощается инертном без экзотермических превращений и замедляет процесс реакции до его полной остановки. Возобновление процесса осуществляется вручную – электродугой, ток которой оказывается в 2-4 раза меньше, чем при обычной технологии MMAW.

### Выводы

1. Применение предлагаемого способа позволяет использовать малогабаритные энергосберегающие источники питания малой мощности и увеличить производительность MMAW-процессов за счет совместного воздействия на восстанавливаемую деталь тепла СВС и электрического разогрева.

2. Снижение затрат электроэнергии в новом MMAW-процессе обусловлено использованием дополнительной энергии экзотермической реакции СВС, так как сварку производят плавящимся электродом с обмазкой, содержащей экзотермическую смесь порошков.

3. Совместное использование тепла СВС-реакции и электрической дуги с высокой концентрацией выделяемой энергии может быть рекомендовано для наплавки и сварки тугоплавких высокотвердых материалов.

4. Предлагаемая энергоэффективная технология имеет преимущество по сравнению с традиционными ММАW-процессами не только за счет применения тепла СВС-реакции, но и за счет экономии металла электрода путем уменьшения разбрызгивания металла, которое происходит при больших токах во время замыкания электродного промежутка каплями расплавленного металла.

5. Технология может быть рекомендована для решения задач ремонта сельскохозяйственной техники на предприятиях с малой энергоресурсообеспеченностью и в полевых условиях.

#### Библиографический список

1. Микотин В.Я. Технология ремонта сельскохозяйственных машин и оборудования. – М.: Колос, 1997. – С. 367.

2. Мержанов А.Г. Самораспространяющейся высокотемпературный синтез // Вестник АН СССР. – 1976. – № 10.

3. Мержанов А.Г., Боровинская И.П., Штейнберг А.С. и др. А.с. 747661, СССР, МКИ В 23 К 28/00. Способ соединения материалов. – № 2350713/25-27; заявл. 17.04.76; опубл. 15.06.80, Бюл. № 26.

4. Коротких В.М., А.В. Коротких, Галышкин Н.В., Лебедева О.А. Патент РФ № 2353489. Способ сварки металлов. – № 2007127576; заявл. 18.07.2007; опубл. 27.04.2009, Бюл. № 12.

5. Коротких В.М. Яковлев В.И., Штырхунов И.А. Интегральные СВС-технологии получения твердых материалов // Ползу-

новский вестник. – 2005. – № 4. – С. 128-130.

6. Коротких В.М. Энергоэффективные электротехнологии для восстановления рабочих поверхностей сельскохозяйственной техники // Энергетика: экология, надежность, безопасность: матер. 16-й Всерос. науч.-практ. конф. – Томск: Изд-во ТГУ, 2010. – С. 148-151.

7. Ишанин Г.Г. Приемники излучения оптических и оптико-электронных приборов. – Л.: Машиностроение, 1986. – С. 57.

8. Коротких В.М., Гуляев П.Ю., Гумиров М.А., Еськов А.В., Евстигнеев В.В. Патент РФ № 2099674. Способ измерения яркостной температуры объекта. – № 96113418; заявл. 1.07.1996; опубл. 20.12.1997, Бюл. № 22.

9. Коротких В.М. Телевизионные методы контроля теплофизических параметров в технологиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Барнаул, 1999. – С. 11.

10. Зельдович Я.Б., Баренблатт Г.И. и др. Математическая теория горения и взрыва. – М.: Наука, 1980. – С. 235.

11. Коротких В.М., Рябов С.П. Экспериментальное получение функциональной зависимости скорости распространения фронта горения от начальной температуры в технологиях СВ-синтеза // Самораспространяющейся высокотемпературный синтез: сб. науч. тр. – Новосибирск: Наука, 2001. – С. 132-136.



УДК 631.34.2

**А.М. Емельянов,  
Е.М. Шпилев**

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАКТОРА ТЯГОВОГО КЛАССА 1,4 ЗА СЧЕТ ТРЕУГОЛЬНОГО ГУСЕНИЧНОГО ДВИЖИТЕЛЯ

**Ключевые слова:** Дальний Восток, эффективность использования ходовой системы, трактор, треугольный гусеничный движитель, тяговая характеристика,

сопротивление движению, касательная сила тяги, буксование, деформация почвы, переувлажнение почвы.