

УДК 621.791.927.5

**Волков Д. А., Пресняков В. А.**

## **ОСОБЕННОСТИ НАГРЕВА ПРИСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ НАПЛАВКЕ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ**

Одним из основных условий получения стабильных свойств наплавленного материала и прочности его сцепления с основой при электроконтактной наплавке порошковой проволокой сегментно-образного поперечного сечения (ЭКНПП) является поддержание постоянными параметров термического цикла нагрева, в частности таких, как максимальная температура нагрева и время ее достижения. Особенно большое значение это имеет при наплавке детали отдельными участками. Например, режущую кромку лемеха получают путем последовательной наплавки предварительно уложенного присадочного материала в виде порошка или проволоки на рабочую кромку заготовки лемеха [1].

Обычно заданный режим не обеспечивает одинаковые условия наплавки на всех участках, что связано с различной степенью их нагрева, а так же изменением электрических и теплофизических характеристик металла детали. В связи с этим возникает необходимость прогнозирования и регулирования параметров нагрева в зависимости от свойств присадочного материала и металла основы.

Большой вклад в разработку теоретических основ нанесения покрытий с использованием порошковых материалов и электроконтактного нагрева, изучению процесса нагрева электропроводных порошков внесли: А. И. Райченко, Е. В. Рыморов, И. Д. Радомысельский, Н. Н. Дорожкин, В. К. Ярошевич, М. З. Нафиков, И. И. Загиров и др.

Однако предложенные расчетные методики и математические модели [2, 3] имеют целый ряд допущений и учитывают условия нагрева порошковых материалов в свободном состоянии или сплошных присадочных проволок.

Условия нагрева порошкового материала, заключенного в металлическую оболочку – порошковой проволоки при электроконтактной наплавке практически не изучены.

Целью данной работы является экспериментальное установление основных закономерностей нагрева присадочного материала при электроконтактной наплавке порошковой проволокой с учетом свойств присадочного материала и параметров режима наплавки. Работа является актуальной, так как полученные данные позволят в последствие создать математическую модель нагрева присадочного материала и распределения поля температур в восстанавливаемой детали при электроконтактной наплавке порошковой проволокой.

Для решения поставленной задачи необходимо было измерить температуры в различных областях межэлектродной зоны в процессе электроконтактной наплавки. Экспериментальное определение температуры нагрева присадочного материала производилось на модернизированной шовной машине МШ-2204-1. Температура измерялась с помощью хромель-алюмелевых термопар, расположенных в центре порошкового материала и в зоне контактов между оболочкой и деталью, между оболочкой и электродом (рис. 1). Регистрация сигнала осуществлялась шлейфовым осциллографом К12-22. За эталонное значение температуры принимали температуру плавления свинца. Изменяемыми параметрами были начальная плотность порошкового материала ( $I$ ), технологические параметры режима: ток ( $I$ ), усилие на электрод ( $P$ ), время протекания импульса тока ( $t_u$ ).

В результате экспериментальных исследований были получены следующие данные о нагреве присадочного материала. В начальный момент (рис. 1, а) тепло выделяется в зоне контакта оболочки и детали, за счет этого тепла происходит нагрев оболочки до максимальной температуры. Одновременно с этим происходит нагрев и деформация всего присадочного материала, что приводит к резкому увеличению площади контакта между оболочкой

и деталью и исчезновению контактного сопротивления. При этом снижается плотность тока в контакте и увеличивается теплоотвод в наплавляемую деталь. Все эти процессы обуславливают уменьшение температуры оболочки на втором этапе ЭКНПП (рис. 1, б).

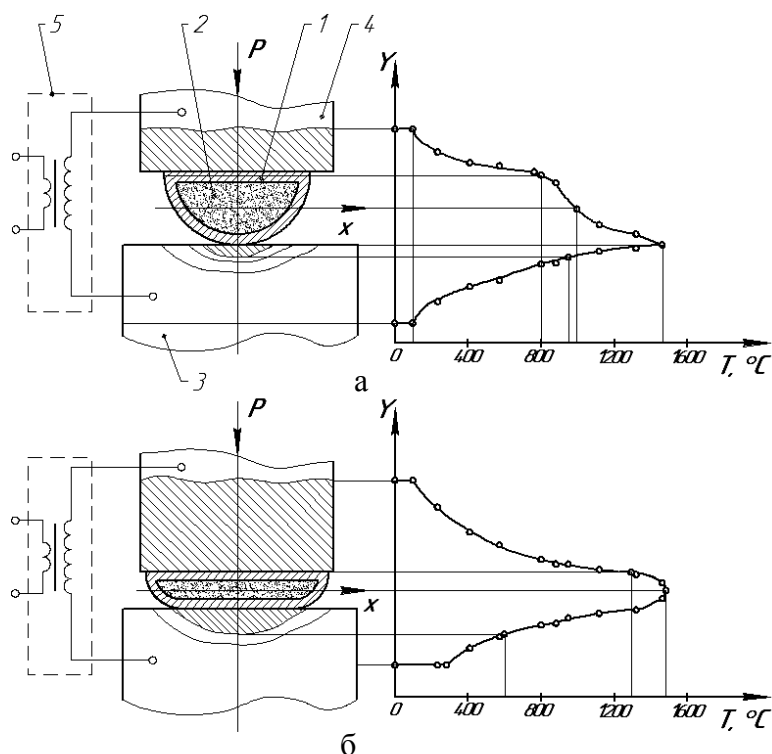


Рис. 1. Распределение температуры по сечению присадочного материала:

1 – оболочка; 2 – порошок; 3 – наплавляемая деталь; 4 – ролик-электрод; 5 – источник питания

Кривые изменения температуры порошкового материала, заключенного в металлическую оболочку также хорошо согласуются с данными об электросопротивлении порошка и оболочки. На первом этапе температура порошка увеличивается медленно, так как нагрев в основном происходит за счет теплоотвода от оболочки. После деформации присадочного материала, когда электрический ток начинает протекать непосредственно через порошковый слой, температура порошка резко возрастает за счет тепловыделения в контактах между частицами порошкового материала. Причем температура нагрева порошка может превышать температуру оболочки. После исчезновения контактных электросопротивлений в порошковом слое, вследствие продолжающейся деформации присадочного материала и окончательного уплотнения порошка, тепло, выделяемое за единицу времени, становится меньше тепла, отводимого в массу детали. Температура порошка начинает уменьшаться. Следовательно, можно сделать вывод, что увеличение времени протекания электрического тока выше определенного предела не приводит к дальнейшему повышению температуры присадочного материала.

Таким образом, приведенные зависимости показывают, что в начальный момент времени основным источником тепловыделения являются контактные электросопротивления между оболочкой, деталью и электродом. Температура порошкового материала на первом этапе значительно ниже. На втором этапе после деформации присадочного материала тепло выделяется в порошковом слое, его температура становится выше температуры оболочки. Необходимо учитывать этот момент при выборе режима наплавки, так как увеличение тока выше критического в данном случае может привести к расплавлению порошка, прожогу оболочки и выплеску расплавленного металла в виде капель.

На рис. 2 показана зависимость температуры оболочки и порошкового материала от силы тока и длительности его протекания. За время 0,02...0,04 с температура оболочки достигает своего максимума, затем, несмотря на продолжающееся протекание электрического тока, температура оболочки заметно падает. Это связано с перемещением зоны тепловыделения.

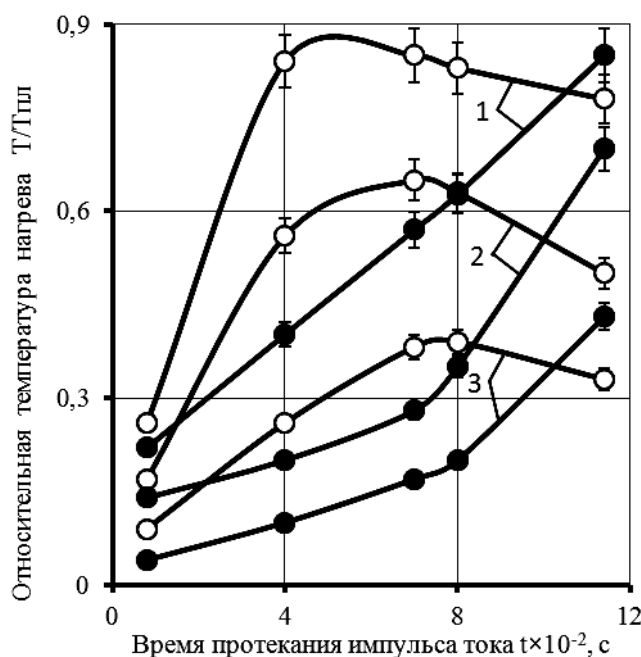


Рис. 2. Зависимость температуры нагрева оболочки и порошка от параметров режима наплавки (о – оболочка; • – порошок):  
1 – 10–20 кА; 2 – 14–16 кА; 3 – 10–12 кА

Однако, как показано на рис. 3 и 4, увеличение силы электрического тока оказывает определяющее влияние на кинетику нагрева присадочного материала только в определенных условиях.

Температура нагрева зависит в значительной мере от пористости порошка, заключенного в металлическую оболочку, и от усилия на электроде. На рис. 3 показана зависимость температуры нагрева порошкового материала от начальной плотности порошка и времени протекания импульса электрического тока. Величина пористости задавалась предварительным уплотнением порошка в оболочке.

Анализ полученных данных показывает, что при увеличении начальной плотности порошка максимальная температура его нагрева тоже увеличивается. Как было показано ранее, подобное явление связано с увеличением площади контакта между оболочкой и деталью при уменьшении начальной плотности порошкового материала. Следствием этого является снижение плотности электрического тока и температуры нагрева. Причем и в данном случае показано, что увеличение времени протекания электрического тока в указанных пределах не приводит к увеличению температуры нагрева порошка в оболочке. Кривые, приведенные на рис. 4, подтверждают указанные положения и выявляют совместное влияние начальной пористости порошкового материала и усилия на электроде на максимальную температуру нагрева порошка.

Как видно из графиков (рис. 4) с уменьшением начальной плотности порошкового материала в оболочке и с увеличением усилия на электроде влияние величины электрического тока на температуру нагрева присадочного материала уменьшается. Если при плотности

80 % увеличение тока с 6 кА до 14 кА приводит к заметному увеличению температуры нагрева, то при  $\Pi = 40\%$  и усилие на электроде 4 кН сила тока не оказывает практически никакого влияния на температуру нагрева присадочного материала. Площадь контакта между оболочкой и деталью настолько велика, что практически все тепло, выделяемое в присадочном материале при прохождении через него электрического тока, отводится в деталь и электрод контактной сварочной машины. Подобное явление происходит при контактной сварке заготовки малой толщины с массивной деталью [4]. Зона нагрева смещается в массивную деталь и сварка без применения дополнительных технологических приемов невозможна.

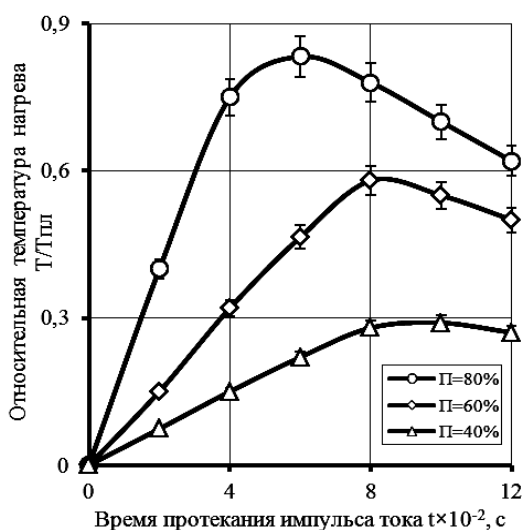


Рис. 3. Зависимость температуры нагрева присадочного материала от времени  $t$  и начальной плотности порошка в оболочке

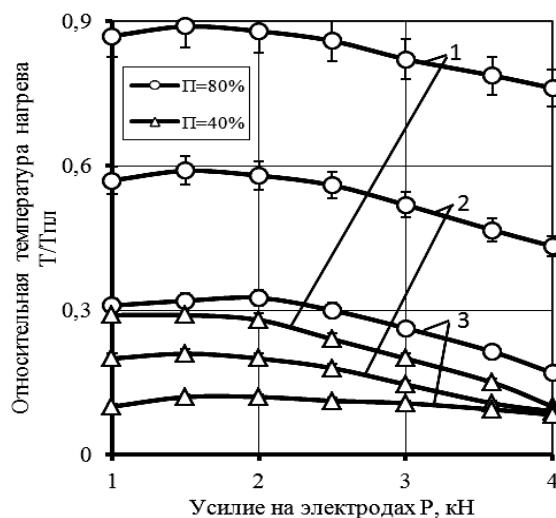


Рис. 4. Зависимость температуры нагрева порошкового материала от параметров режима наплавки:

1 – 18...20 кА; 2 – 14...16 кА; 3 – 10...12 кА

Определяющее влияние усилия на электроде и пористости порошка на температуру нагрева характерно только для способа электроконтактной наплавки порошка, заключенного в металлическую оболочку. При наплавке порошка без оболочки порошок распределен равномерно по ширине зоны нагрева и деформации и увеличение усилия на электрод в известных пределах не приводит к увеличению площади контакта и снижению температуры нагрева. При наплавке сплошной проволокой проволока в холодном состоянии не деформируется, следовательно, площадь контакта между присадочным материалом и деталью практически не увеличивается.

В нашем случае наличие высокой начальной пористости приводит к появлению предварительной холодной деформации присадочного материала при увеличении усилия на электроде. Появляется возможность регулировать величину площади контакта между оболочкой и деталью, а, следовательно, и электрическое контактное сопротивление, плотность электрического тока, температуру нагрева присадочного материала.

В связи с тем, что процесс выделения тепла при ЭКНПП имеет двухстадийный характер и для получения качественного соединения необходимо поддержание параметров термического цикла нагрева постоянными, была предложена следующая схема регулирования процесса нагрева (рис. 5).

Регулирование параметров нагрева производили при помощи восьмипозиционного регулятора РКС-801 [5]. Регулятор РКС-801 содержит две позиции «Сварка», имеющими отдельную регулировку уровня тока, с режимом пульсирующей сварки и возможностью

модуляції тока. Он имеет 8 регулируемых и 1 не регулируемую позицию сварочного цикла, которые расположены в цикле в следующей последовательности: «Предварительное сжатие», «Сжатие», «Охлаждение», «Сварка 1», «Проковка 1», «Сварка 2», «Проковка 2» и «Пауза». Кроме того, обеспечивается возможность внешнего управления величиной сварочного тока от установленного переключателями «Нагрев 1» и «Нагрев 2» уровня до 50 %-го нижнего предела. Используя возможность внешнего регулирования величиной сварочного тока, и опытно подбирая, соотношение между длительностью составных частей цикла пытались достичь требуемой температуры нагрева и поддержать ее на этом уровне в течение заданного времени. Процесс оказался очень трудоемким и слабо эффективным.

Для более эффективного регулирования была предпринята попытка бесконтактного регулирования с использованием в качестве термодатчика фотодиода ФД-3А, имеющего высокую чувствительность в широкой области спектра [6].

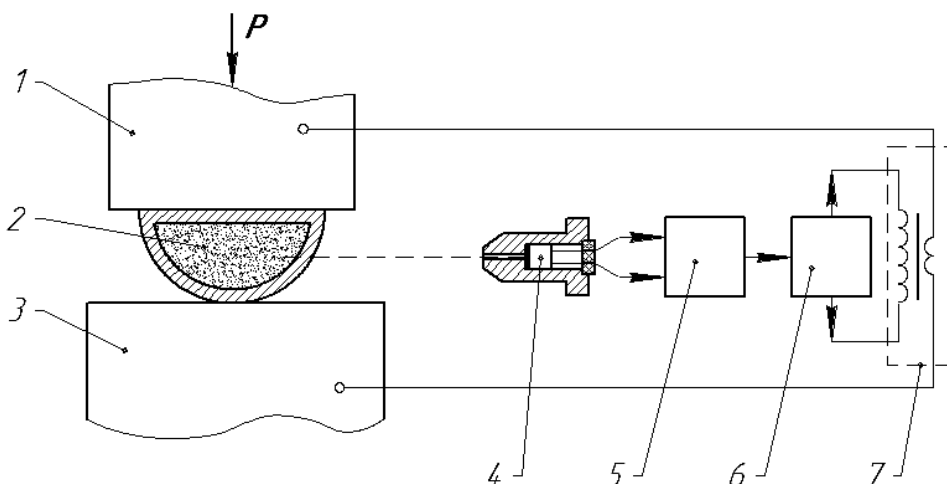


Рис. 5. Схема регулирования нагрева наплавляемого материала:

1 – ролик-электрод; 2 – присадочный материал; 3 – металлическая основа; 4 – фотодатчик; 5 – блок управления; 6 – регулятор РКС-801; 7 – трансформатор

Схема блока управления представлена на рис. 6. Блок управления состоит из двух функциональных частей: операционного усилителя, который усиливает сигнал от термодатчика (фотодиод ФД-3А) и компаратора (элемента сравнения). Усиленный сигнал от датчика подается на компаратор, построенный на операционном усилителе DA2 (К140УД6).

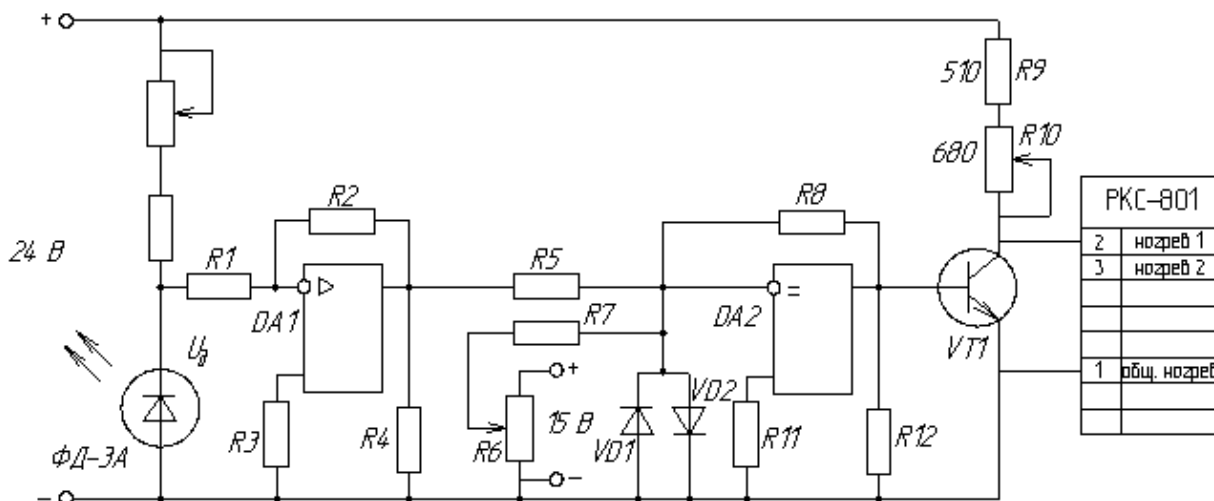


Рис. 6. Схема блока управления регулятором цикла сварки РКС-801

На компаратор подается задающее напряжение, устанавливаемое регулятором R1. Компаратор переключается при равенстве входных напряжений:

$$U_{\text{вых}} = \begin{cases} +U_{\text{ншт}} & \text{при } |U_{\text{вх1}}| > |U_{\text{вх2}}|; \\ -U_{\text{ншт}} & \text{при } |U_{\text{вх1}}| < |U_{\text{вх2}}|. \end{cases} \quad (1)$$

В начале процесса наплавки сигнал от фотодатчика максимален. При этом  $|U_{\text{вх1}}| > |U_{\text{вх2}}|$ ,  $U_{\text{вых}} = +U_{\text{ншт}}$ , транзистор VT1 открыт и регулятор РКС-801 работает с установленным углом открытия тиристоров. При нагревании присадочного материала (порошковой проволоки) проводимость фотодиода возрастает,  $U_{\text{д}}$  уменьшается. Когда температура нагрева достигает заданной величины (настраивается регулятором R6) компаратор переключается. Транзистор VT1 закрывается и на вход «Нагрев 1» регулятора РКС-801 подается напряжение (настраивается R10), которое обеспечивает увеличение угла включения тиристорного контактора и как следствие уменьшению сварочного тока.

### ВЫВОДЫ

1. Экспериментально доказано, что нагрев при электроконтактной наплавке порошковой проволокой сегментообразной формы, в основном, осуществляется за счет тепла, выделяемого на контактных электросопротивлениях (на первом этапе в зоне контакта между оболочкой и деталью, на втором – в контактах между частицами порошкового материала). После исчезновения контактного электросопротивления, вследствие деформации присадочного материала, температура порошка уменьшается независимо от времени протекания импульса тока.

2. Установлено, что температура нагрева порошкового материала в оболочке увеличивается при увеличении его начальной плотности, вследствие высокой сопротивляемости пластической деформации и уменьшении площади контакта между оболочкой и деталью.

3. Разработана принципиальная схема блока управления регулятором цикла сварки РКС-801 на основании бесконтактного регулирования температуры присадочного материала в процессе наплавки с использованием в качестве термодатчика фотодиода ФД-3А, имеющего высокую чувствительность в широкой области спектра.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гулаков С. В. *Наплавка рабочего слоя с регламентированным распределением свойств* / С. В. Гулаков, Б. И. Носовский. – Мариуполь : Издательство ПГТУ, 2005. – 170 с.
2. Фархшатов М. Н. *Разработка расчетной схемы распределения поля температур при восстановлении деталей машин электроконтактной приваркой присадочных материалов* / М. Н. Фархшатов // Вестник ОГУ. – 2006. – № 10(2). – С. 403–409.
3. Нафиков М. З. *Математическая модель формирования соединения при электроконтактной наплавке (наварке) проволоки* / М. З. Нафиков, И. И. Загиров // *Технология машиностроения*. – 2008. – №6. – С. 62–66.
4. Банов М. Д. *Технология и оборудование контактной сварки : учебное пособие* / М. Д. Банов. – 3-е изд., стер. – М. : Академия, 2008. – 224 с.
5. *ОАО Электромашиностроительный завод «Фирма СЭЛМА» : каталог продукции. Оборудование для управления контактными сварочными машинами. Регулятор контактной сварки РКС-801М [Электронный ресурс]*. – Режим доступа : <http://www.selma.ua>.
6. Волков Д. А. *Автоматическое управление процессом нагрева при электроконтактной наплавке порошковой проволокой* / Д. А. Волков, В. К. Лысак // *Сварочное производство в машиностроении: перспективы развития : материалы II международной научно-технической конференции, 5-8 октября 2010 г.* / Под общ. ред. Н. А. Макаренко. – Краматорск : ДГМА, 2010. – 81 с.