

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КАЧЕСТВО ФОРМИРУЕМОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ НАПЛАВКЕ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ

Волков Д. А.

В статье рассматривается влияние совокупности управляемых параметров режима электроконтактной наплавки порошковой проволокой: давления на электродах, тока наплавки и времени импульса тока на качество формирования покрытия. Доказано, что именно эти параметры определяют температуру в зоне контакта, величину и интенсивность пластической деформации детали и присадочного металла в зоне соединения, а, следовательно, оказывают существенное влияние на прочность сцепления покрытия с основой, износостойкость и твердость. Установлено, что нагрев порошковой проволоки при электроконтактной наплавке, 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.

У статті розглядається вплив сукупності керованих параметрів режиму електроконтактної наплавки порошковим дротом: тиску на електродах, струму наплавки і часу імпульсу струму на якість формування покриття. Доведено, що саме ці параметри визначають температуру в зоні контакту, величину та інтенсивність пластичної деформації деталі і присаджувального металу в зоні з'єднання, а, отже, мають істотний вплив на міцність зчеплення покриття з основою, зносостійкість і твердість. Встановлено, що нагрівання порошкового дроту при електроконтактному наплавленні, в основному, здійснюється за рахунок тепла, що виділяється на контактних електроопору: на першому етапі в зоні контакту між оболонкою і деталлю, на другому – в контактах між частинками порошкового матеріалу.

The article examines the impact of aggregate managed mode setting electric-welding flux cored wire: pressure on the electrodes, welding current and time of the current pulse on the quality of the coating formation. It is proved that these parameters determine the temperature in the contact area, the size and intensity of the plastic deformation of parts and the filler metal in the joint zone, and consequently have a significant impact on the strength of adhesion of the coating to the substrate, hardness and wear resistance. It is found that heating of the powder in the wire electric-surfacing mainly carried out due to heat generated at the contact resistivity: at the first stage in the contact zone between the envelope and the workpiece, the second – in the contacts between the particles of the particulate material.

Волков Д. А.

канд. техн. наук, доц. каф. ОиТСП ДГМА
sp@dgma.donetsk.ua

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 621.791.927

Волков Д. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КАЧЕСТВО ФОРМИРУЕМОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ НАПЛАВКЕ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ

Значительное количество деталей сельскохозяйственной техники не выдерживает запланированного ресурса работы, особенно это касается деталей типа «вал», рабочих органов почвообрабатывающих машин и других деталей. Если учесть, что к моменту списания техники, для повторного использования путем восстановления пригодно 65...75% деталей, то организация восстановления изношенных деталей является не только важным резервом удовлетворения потребности сельского хозяйства запасными частями, но и существенным резервом повышения качества ремонта, а также снижения расходов материальных и трудовых ресурсов [1].

Одним из направлений повышения долговечности деталей данной номенклатуры является нанесение композиционных покрытий на рабочие поверхности методом электроконтактной наплавки порошковыми проволоками [2–4].

Так, автор работы [2] для получения износостойких слоев на рабочих участках деталей автомобиля предлагает метод электроконтактной наварки порошковой проволоки с сердечником на основе сормайта с добавками 28...30 % ферроборхрома ФБХ-6-2 и 7...8 % меди ПМС-1У и оболочкой из стали 65Г. Данный способ обеспечивает повышение износостойкости деталей в 4,2...4,4 раза по сравнению с деталями, прошедшими закалку токами высокой частоты.

В работе [3] предлагается способ электроконтактного упрочнения плоских деталей из низкоуглеродистых сталей порошковой проволокой с сердечником 50...70 % ПГ-С27 и 30...50 % феррохрома ФХ-800 и оболочкой из стали 08кп. Разработанный способ наплавки ребер валцов комбайна КСКУ-6Б позволил в 1,6...1,8 раза повысить износостойкость наплавленной поверхности по сравнению с деталями, прошедшими дуговую полуавтоматическую наплавку в среде углекислого газа.

Авторы работы [4] доказали, что для достижения максимальной износостойкости, а также высоких физико-механических и эксплуатационных свойств восстановленных валов посевных машин целесообразно использовать в качестве присадочного материала при электроконтактной наплавке композиционную порошковую проволоку следующего состава: оболочка – сталь 08кп; порошковый сердечник – 40% карбида хрома, плакированного никелем, и железный порошок – 60%. Стендовые и эксплуатационные испытания восстановленных валов посевных машин показали, что износ сопряжений рабочих органов при использовании восстановленных деталей меньше в 1,80...2,95 раза, чем при использовании серийных деталей. Величина среднего ресурса валов соответственно увеличивается в 2,68...3,23 раза.

Несмотря на очевидные успехи в развитии электроконтактной наплавки порошковыми проволоками, еще имеется множество нерешенных вопросов, которые сложно, а иногда и невозможно решить в рамках традиционных схем и подходов. Это относится к случаям приварки порошковых материалов в свободном состоянии, когда воздействие температур выше $0,9 T_{пл}$ и при сварочных давлениях свыше $0,8 \sigma_T$ приводит к необратимым изменениям исходных свойств соединяемых материалов или их разрушению. Наличие металлической оболочки порошковой проволоки значительно снижает начальное электросопротивление межэлектродного промежутка, предотвращает перегрев соединяемых поверхностей и исключает возможность выплеска расплавленного металла, однако вносит существенные измене-

ния в условия нагрева и деформации присадочного материала в целом, что в конечном итоге и влияет на условия формирования соединения и его качество.

Поэтому целью данной работы является изучение влияния основных технологических факторов процесса электроконтактной наплавки на качество формируемого покрытия и установление функциональной взаимосвязи между ними.

Для достижения, поставленной цели, а также с целью сокращения количества экспериментов использовали метод математической статистики [5]. Моделирование осуществляли в программной среде системы Statistica V6.0.437.0 (StatSoft. Inc. 2001) [6].

Экспериментальная реализация планов осуществлялась путем определения температуры нагрева присадочного материала на экспериментальной установке, созданной на базе модернизированной точечной машине МТ-1222-У4. Температура измерялась с помощью хромель-алюмелевых термопар, расположенных в центре порошкового материала и в зоне контактов между оболочкой и деталью, между оболочкой и электродом. Регистрация сигнала осуществлялась шлейфовым осциллографом К12-22. За эталонное значение температуры принимали температуру плавления свинца.

Варьируемыми параметрами являлись технологические параметры режима: ток наплавки ($I_{\text{нап}}$), усилие на электродах (P), время протекания импульса тока ($t_{\text{им}}$).

Наибольшее распространение получили эксперименты, в которых факторы варьируются на двух уровнях, т.е. эксперименты типа 2^k . Увеличение числа факторов и уровней варьирования резко увеличивает число опытов. Поэтому использовали ортогональные планы второго порядка 2^2 [5, 6].

Из анализа зависимостей рис. 1, а видно, что за время 0,06...0,08 с температура оболочки порошковой проволоки достигает своего максимума, затем, несмотря на продолжающееся протекание электрического тока, температура оболочки заметно падает.

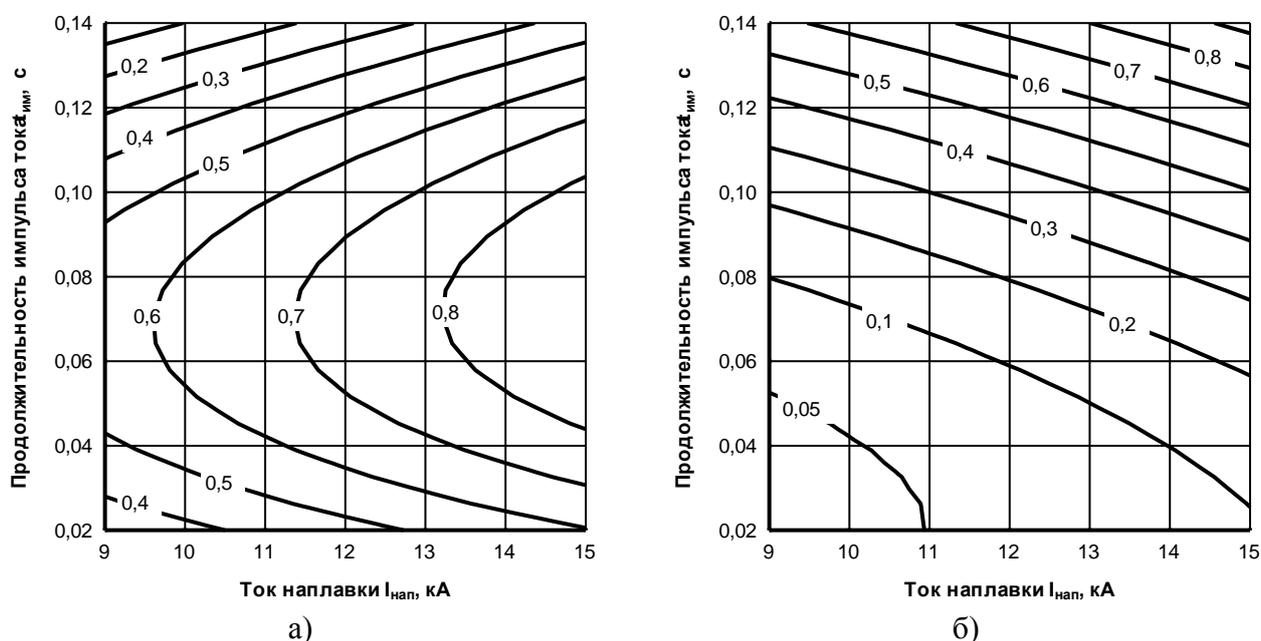


Рис. 1. Контурные графики зависимости температуры нагрева ($T/T_{\text{пл}}$) оболочки (а) и порошкового сердечника (б) порошковой проволоки от параметров режима электроконтактной наплавки

Это связано с перемещением зоны тепловыделения. В начальный момент 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 обо-

лочкой 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 электроконтактной наплавки порошковой проволокой.

Кривые изменения температуры порошковой шихты (рис. 1, б) порошковой проволоки 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, при электроконтактной наплавке порошковой проволокой, 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. Именно поэтому, необходимо учитывать данный фактор 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, что в значительной степени повлияет на прочность сцепления покрытия с основой, и как следствие, на износостойкость и твердость.

Поэтому на следующем этапе производили оценку основных энергосиловых факторов процесса наплавки: тока наплавки ($I_{\text{нап}}$) и усилия на электродах (P) на основные эксплуатационные характеристики покрытий по методикам [7, 8].

На рис. 2. представлены контурные графики зависимости прочности сцепления, относительной износостойкости и твердости покрытий от тока и усилия на электродах при электроконтактной наплавке порошковой проволокой

В рассматриваемом интервале изменения параметров режима наплавки установили, что прочность сцепления покрытия, полученного при наплавке порошковой проволокой в 2...2,5 раза выше, чем при наплавке порошковой смесью в свободном состоянии (рис. 2, а). Очевидно, что при увеличении усилия на электроде в исследованных пределах прочность сцепления покрытия с деталью уменьшается. Это объясняется снижением температуры нагрева в зоне соединения, связанной с деформацией оболочки проволоки до включения импульса электрического тока. При этом резко увеличивается площадь контакта между оболочкой и деталью, что приводит к уменьшению электрического сопротивления контакта и плотности тока, что уменьшает общее количество тепла в межэлектродной области.

Исследования на износостойкость (рис. 2, б) показали значительное преимущество способа электроконтактной наплавки порошковой проволокой. В покрытиях, наплавленных данным способом, практически отсутствует выкрашивание твердых частиц из матрицы. Повышение прочности сцепления между частицами порошкового материала объясняется более благоприятными условиями уплотнения и спекания порошка, создающимися при наличии оболочки. Оболочка предохраняет порошковый материал от чрезмерного окисления при нагреве, создает напряженное состояние близкое к всестороннему сжатию, предотвращает электроразрядный процесс, а, следовательно, перегрев и расплавление частиц. Оболочка бла-

гоприятствует нагреву и предварительному уплотнению порошкового слоя без прохождения электрического тока через порошок. Это предотвращает преждевременную сварку частиц между собой и образование высокопористого хрупкого покрытия.

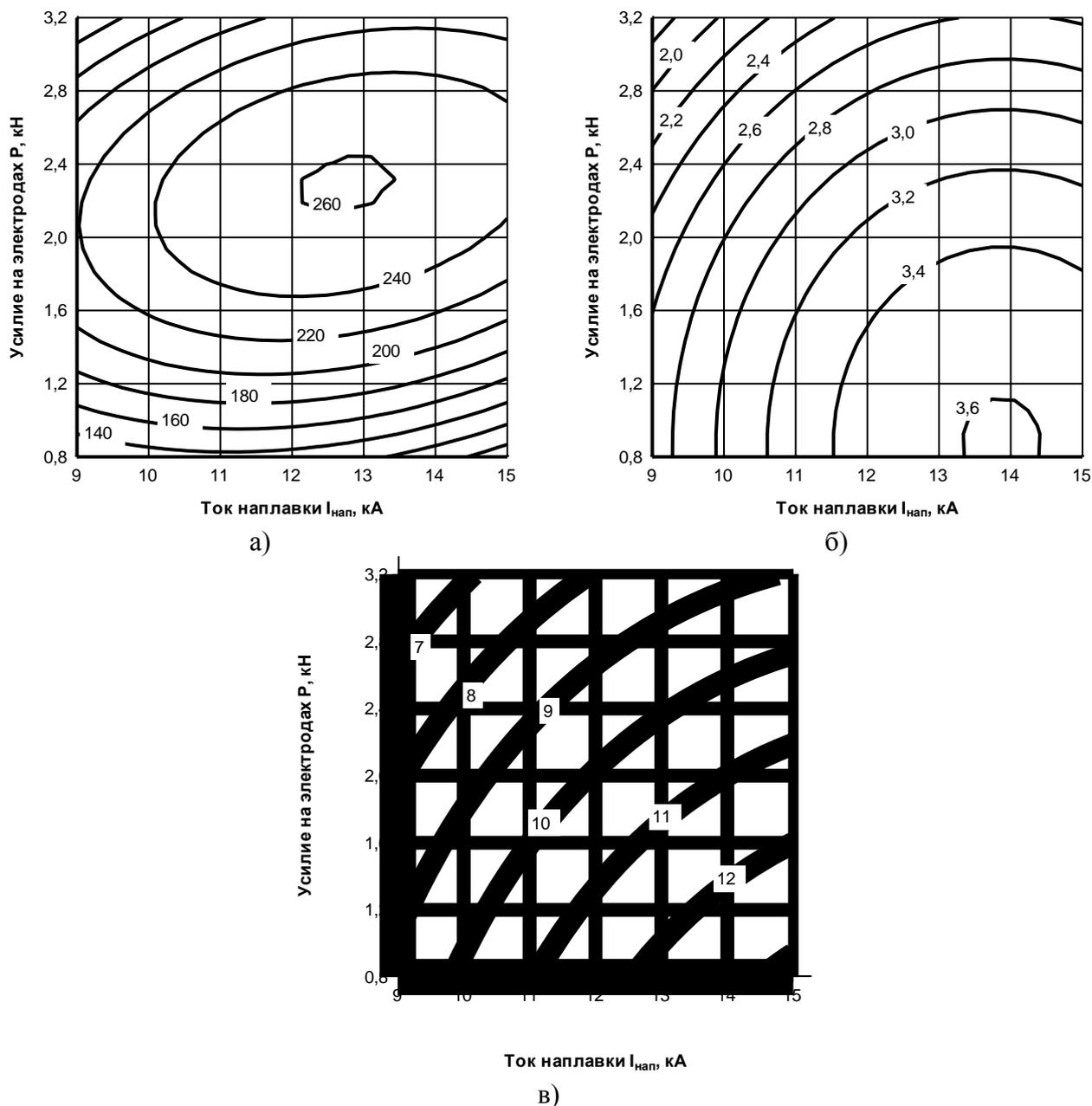


Рис. 2. Контурные графики зависимости прочности сцепления $\tau_{ср}$, МПа (а), относительной износостойкости ϵ (б) и твердости $HV \times 10^3$, МПа (в) покрытия от тока и усилия на электродах при электроконтактной наплавке порошковой проволокой

Рост твердости по мере увеличения тока наплавки от 9 до 15 кА объясняется повышением прочности сцепления порошковых частиц между собой (рис. 2, в). После чего наблюдается некоторое падение твердости, связанное с появлением значительного количества жидкой фазы в покрытии и вторичной рекристаллизации из расплава. Если бы производилась наплавка порошка в свободном состоянии, то он начинал бы плавиться при меньшем значении силы электрического тока, что приводило бы к сужению интервала максимальной твердости. Это объясняется тем, что при электроконтактной наплавке порошковой проволокой

значительная часть тепла выделяется в металлической оболочке, поэтому отсутствует возможность расплавления порошкового материала при правильно выбранных параметрах режима. Однако использование необоснованно высоких токов при наплавке (более 16...18 кА) может приводить к появлению процессов плавления порошка. При этом порошковый материал теряет исходные физико-механические свойства, что приводит к снижению твердости покрытия в целом.

Снижение твердости при увеличении усилия на электроде объясняется снижением температуры нагрева порошкового материала вследствие увеличения площади контакта между оболочкой и поверхностью детали.

ВЫВОДЫ

1. Установлены основные закономерности нагрева присадочного материала – порошковой проволоки в процессе электроконтактной наплавки износостойкого сплава.

2. Доказано, что нагрев порошковой проволоки при электроконтактной наплавке, 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.

3. Установлено, что основными параметрами, определяющими температуру нагрева присадочного материала при электроконтактной наплавке порошковой проволокой, а следовательно, влияющими на прочность сцепления покрытия с основой, твердость и износостойкость, являются площадь контакта между оболочкой и деталью, определяемая усилием на электроде контактной сварочной машины и силой сварочного тока.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Надійність сільськогосподарської техніки / М. І. Черновол [та ін.]; за ред. М. І. Черновола. – 2-ге вид., переробл. і допов. – Кіровоград : КОД, 2010. – 320 с. – ISBN 978-966-1508-35-3.
2. Куликов И. В. Оптимизация процесса и разработка технологии получения износостойких слоев на рабочих участках деталей автомобиля методом электроконтактной наварки порошковой проволоки [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.06 / Куликов Игорь Владимирович. – М., 1986. – 16 с.
3. Пресняков В. А. Разработка и исследование процесса электроконтактной наварки порошковых материалов в металлической оболочке [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.06 / Пресняков Виктор Анатольевич. – Ростов-на-Дону, 1992. – 16 с.
4. Черновол М. І. Використання для контактного наварювання комбінованих матеріалів / М. І. Черновол, І. Ф. Василенко // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація : зб. наук. праць КІСМ. – Кіровоград : КІСМ, 1998. – С. 86–90.
5. Боровиков В. П. Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA: методология и технология современного анализа данных : учеб. пособие / В. П. Боровиков. – М. : Горячая линия – Телеком, 2013. – ISBN 978-5-9912-0326-5.
6. Чигарев В. В. Математическая модель нагрева присадочного материала при электроконтактной наплавке износостойкого сплава / В. В. Чигарев, Д. А. Волков // Вісник Приазовського державного технічного університету : зб. наук. праць. – Маріуполь : ДВНЗ «Приазов. держ. техн. ун-т», 2011. – Вип. 23. – С. 26–31. – (Сер.: Технічні науки). – ISBN 966-604-012-3.
7. Сайфуллин Р. Н. Прочность сцепления и пористость покрытий, полученных электроконтактной приваркой порошковых композиций / Р. Н. Сайфуллин // Сварочное производство. – 2007. – № 9. – С. 14-16. – ISSN 0491-6441.
8. Волков Д. А. Методы оценки прочности сцепления покрытий, полученных электроконтактной наплавкой порошковых материалов в металлической оболочке / Д. А. Волков, В. Т. Катренко // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук. праць ДДМА. – Краматорськ : ДДМА, 2010. – № 2(19). – С. 57–64. – ISSN 1993-8322.