

тельности в Республике Беларусь. – Минск, 1997 г. – 34с.

12. Гринин А.С. Промышленные и бытовые отходы. – М. Гродно, 2002 г.

13. Отчёт по хозяйственному договору №03.870 «Разработка технологической схемы и техническая помощь в из-

готовлении экспериментальных биогазовой и биотехнологической установок», Минск, 2003 г.

14. Русан В.И., Короткевич М.А. Комплексное использование возобновляемых источников энергии: Монография. – Мн.: Институт АПК НАН Беларуси, 2004 г. – 68с.

УДК 621.791(035.5)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И ПОВЫШЕНИЕ ИХ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ

**В. В. Кураш, к.т.н., доцент; А.В.Кудина, инженер; Ю.Т. Антонишин, к.т.н.
(УО БГАТУ); В.В. Хроленок, к.т.н. (ГУ НИКТИСП с ОП)**

В ремонтном производстве сельскохозяйственных машин широко применяется наплавка изношенных поверхностей деталей как наиболее эффективный и наименее трудоёмкий технологический процесс их восстановления. Восстанавливая рабочие поверхности наплавкой путём применения композиционных присадочных материалов и экспериментально полученных технологических режимов наплавки, можно получать физико-механические характеристики восстановленных покрытий, превышающие в несколько раз свойства первоначальных поверхностей.

Такие свойства рабочих поверхностей с применением электродуговой наплавки обычно получают легированием. Легирование наплавленных слоев позволяет получать рабочие поверхности деталей с износостойкими, кислотоупорными, жаростойкими, антифрикционными и другими свойствами.

Методы легирования и способы наплавки взаимосвязаны – выбранный способ наплавки, как правило, диктует рациональный метод легирования, и, наоборот, эффективный метод легирования требует применения соответствующего способа наплавки. Основными признаками, по которым следует оценивать метод легирования, являются: точность (надежность) получения заданного химического состава наплавленного металла при возможных колебаниях режимов наплавки; однородность состава по объему наплавленного слоя; экономичность и удобство применения метода легирования. Что касается экономичности этого метода, то здесь необходимо учитывать целесообразность применения тех или иных леги-

рующих элементов для данного объекта наплавки и потери этих элементов при выборе метода легирования.

Наибольшее распространение получило легирование путем введения в наплавочную (сварочную) ванну металлических сплавов, чистых металлов и металлоподобных соединений. Такой способ легирования применяется для износостойкой наплавки, так как он позволяет обеспечить достаточно необходимый уровень содержания легирующих элементов. В настоящее время кинетика растворения металлических добавок и металлоподобных соединений в жидких металлах изучена еще недостаточно, поэтому процессы электродуговой наплавки износостойких поверхностей путем введения в расплав металла присадочных материалов требуют дальнейшего проведения научно-исследовательских работ и анализа их результатов как в области процессов электродуговой наплавки, так и в сфере формирования структуры наплавленного слоя.

Поверхность, способная хорошо противостоять статическим и динамическим нагрузкам, имеющая низкий коэффициент трения и степень изнашивания, должна быть твердой и упругой. Как правило, наплавливаемые износостойкие поверхности получают путем введения в их состав высокотвердых материалов, причем износостойкость их зависит от ряда факторов. Основные из них: количество и форма карбидов, прочность, упругость и твердость металлической основы, степень ее легирования, характер микроструктуры. Одним из основных направлений совершенствования качества поверхностных слоев деталей и процессов упрочняющих технологий яв-

ляется введение в наплавляемый материал небольших добавок активных элементов, оказывающих рафинирующее влияние.

При введении в расплав металла твёрдосплавных металлопорошков частички порошка, попадая в расплав перед кристаллизацией, при формировании зародышей кристаллов сами становятся дополнительными центрами кристаллообразования, что способствует формированию однородной мелкозернистой структуры.

Процессы легирования протекают на стадии каплеобразования и в сварочной ванне. Концентрация легирующего элемента в наплавленном металле пропорциональна толщине легирующего покрытия (коэффициенту массы покрытия). При эффективной толщине покрытия процессы на стадии капли достигают насыщения, и дальнейшее увеличение толщины покрытия не приводит к изменению концентрации элемента в капле [1]. Это свидетельствует о том, что возрастание концентрации легирующего элемента при увеличении толщины покрытия более эффективно происходит за счет процессов в сварочной ванне. В связи с тем, что при плавлении электрода наружные слои его стекают непосредственно в ванну, минуя каплю, характер плавления электрода существенно влияет на результаты легирования.

Известно [2], что при сварке и наплавке в среде защитных газов наиболее характерным является капельный перенос металла с монотонным снижением размеров

строго соблюдать определенные соотношения между током и напряжением, согласно указанному на рис. 1 диапозону.

Для повышения производительности процесса и уменьшения разбрызгивания целесообразно вести сварку с погружением дуги в ванну так, чтобы внешняя составляющая дуги была равна 2 – 3 мм. При крупнокапельном переносе на электроде образуются капли диаметром больше 1,5 диаметра электрода. Если капля больше длины разрядного промежутка, то переход ее в ванну сопровождается коротким замыканием разрядного промежутка с погасанием дуги. Если капля меньше длины разрядного промежутка, то переход ее в ванну происходит без короткого замыкания. Основными силами, обуславливающими крупнокапельный перенос, является сила тяжести, силы поверхностного натяжения, давление плазменных потоков и реакция испарения. На малых токах отрыв капли от электрода и направление ее полета определяются в основном силой тяжести, а на больших токах – электродинамической силой. При наплавке с крупнокапельным переносом без коротких замыканий (к.з.) разбрызгивание металла происходит в основном из-за случайного вылета за пределы наплавочного валика крупных капель и систематического выброса мелких капель с электрода. Помимо этого из ванны выбрасываются мелкие капли, что вызвано выделением CO. Разбрызгивание сравнительно велико. Для уменьшения разбрызгивания рекомен-

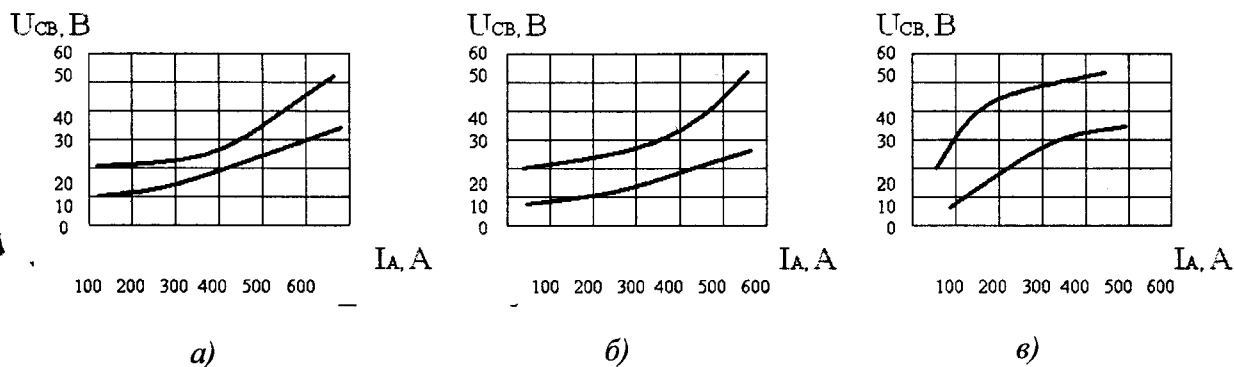


Рис.1. Диапазон оптимальных соотношений между напряжением и током при электродуговой наплавке обратной полярности в CO₂ проволокой C_в-08Г2С и диаметре электродов: а) 0,8-1,2мм; б) 1,2-1,6; в) 1,6-2,0 мм

капель по мере возрастания тока. При достижении определенного значения тока, называемого критическим, размер капель резко уменьшается и перенос становится струйным. Процесс с крупнокапельным переносом наблюдается при сварке проволоками диаметром от 0,5 до 1,6 мм на повышенных напряжениях, а для проволок диаметром больше 1,6 мм – в широком диапазоне режимов сварки (наплавки) кремниемарганцевыми проволоками [3]. При низких напряжениях процесс протекает с короткими замыканиями, а при высоких – без них. Процесс с крупнокапельным переносом сопровождается повышенным разбрызгиванием, поэтому необходимо

дуге [2] подбирать оптимальные скорость нарастания и силу тока J_А к.з., а также увеличить наклон внешней характеристики источника питания дуги. С повышением напряжения разбрызгивание усиливается, а с увеличением тока оно сначала усиливается, а затем ослабевает [3]. Наличие на проволоке ржавчины способствует разбрызгиванию с взрывом крупных капель. В начале наплавки и при нарушениях процесса наблюдается резкое увеличение разбрызгивания в результате выброса расплавленной части электрода и расплескивания ванны. Интенсивное разбрызгивание металла, вызывающее засорение аппаратуры и обрабатываемых деталей, является серьезным

недостатком наплавки в среде защитных газов.

Из всего многообразия способов совершенствования процесса сварки (уменьшение разбрызгивания) в среде углекислого газа широкое промышленное использование получила сварка и наплавка порошковой проволокой. Однако порошковые проволоки по сравнению с проволокой сплошного сечения являются дорогостоящим материалом, отличаются более сложной технологией изготовления, характеризуются большим выделением пыли и газов в процессе сварки и наплавки, что ухудшает условия работы.

Введение твердых износостойких частиц в расплав наиболее эффективно, когда оно осуществляется их вдуванием в расплав струей защитного газа. Известно, что качество металла наплавленного шва зависит в первую очередь от сварочного тока (см. рис. 1), напряжения дуги, диаметра электродной проволоки, размера вдуваемых частиц порошка, расхода и давления защитного газа, подаваемого в зону горения дуги, и других режимных параметров. Отработка технологического процесса электродуговой наплавки в среде углекислого газа с введением в расплав твердых износостойких частиц производилась на базе УО БГАТУ при использовании экспериментальной наплавочной установки совместно с НИКТИСПсОП (научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт сварки и защитных покрытий с опытным производством).

Для повышения качества наплавленной поверхно-

ное распределение его в расплаве металла и надежную защиту зоны наплавки от внешней среды.

Длина вылета электрода является важным параметром режимов сварки (наплавки) и в значительной степени влияет на скорость плавления электродной проволоки. Экспериментально установлено [5], что для проволоки диаметром 1,2 мм и при токах 150 – 250 А оптимальная длина вылета электрода находится в интервале 16,0 – 18,0 мм. Для проведения исследований применялась электродная проволока Св-08Г2С ГОСТ 2246 – 70 диаметром 1,2 мм при вылете электродной проволоки 16-18 мм.

В качестве порошкового присадочного материала применялся порошковый материал марки ПГ–СРЗ ГОСТ 21448 – 75 грануляцией 300 – 500 мкм. Наплавка осуществлялась на круглые детали диаметром 60 мм из стали 45 по схеме перекрытием валиков при $V_n = 9,8$ м/ч амплитуда колебаний электрода $A = 10$ мм и подачей порошка $\sigma = 0,4$ г/с и $\sigma = 2,3$ г/с., расходе углекислого газа 9...10 л/мин. Введение порошковой присадки осуществлялось со стороны защитного факела, в переднюю и хвостовую части сварочной ванны.

Выявлены зависимости глубины проплавления основного металла и высоты наплавочного валика от силы тока и напряжения дуги (в интервале $J_A = 170 - 250$ А; $U = 22 - 30$ В при постоянной подаче присадочного материала. Полученные результаты экспериментов сведены в таблицу 1 и по ним построены зависимости, пред-

1. Режимы и результаты экспериментальных наплавов

Наименование параметров	Величина параметра				
1. Сила тока, А	170	190	210	230	350
2. Напряжение, в	22	24	26	28	30
3. Гранулометрический состав порошка, мкм	300...500				
4. Амплитуда колебаний электрода, мм	10				
5. Скорость наплавки, м/ч	9,8				
6. Расход углекислого газа, л/мин	9...10				
7. Глубина проплавления, $h_{пр}$ мм					
- при $\sigma = 0,4$ г/с	0,82	0,94	1,13	1,30	1,90
- при $\sigma = 2,3$ г/с	0,50	0,56	0,6	0,75	1.10
8. Высота наплавочного валика, $h_{нп}$ мм					
- при $\sigma = 0,4$ г/с	1,1	1,8	2,6	2,9	3,6
- при $\sigma = 2,3$ г/с	2,4	2,8	3,4	3,8	4,5

сти и снижения разбрызгивания металла применен способ электродуговой наплавки с колебанием электрода и подачей присадочного порошка в защитную газовую оболочку [4]. Это позволило установить заданные соотношения между технологическими параметрами наплавки и количеством подаваемого порошка, что регулирует глубину проплавления основного металла и улучшает прочностные и механические характеристики наплавленных слоев. Кроме того, такое введение порошкового присадочного материала обеспечивает равномер-

ставленные на рис. 2.

Анализ полученных результатов показывает, что наиболее оптимальными режимами наплавки с введением присадочного материала при выбранном диаметре электродной проволоки являются: сила тока $J_A = 180 - 200$ А, $U = 23 - 30$ В. Ниже этих параметров происходит потеря части присадочного материала, который, не успевая раствориться в расплаве металла, сдувается защитным газом. Выше указанных параметров происходит более глубокое перемешивание порошка с расплавом, что затруд-

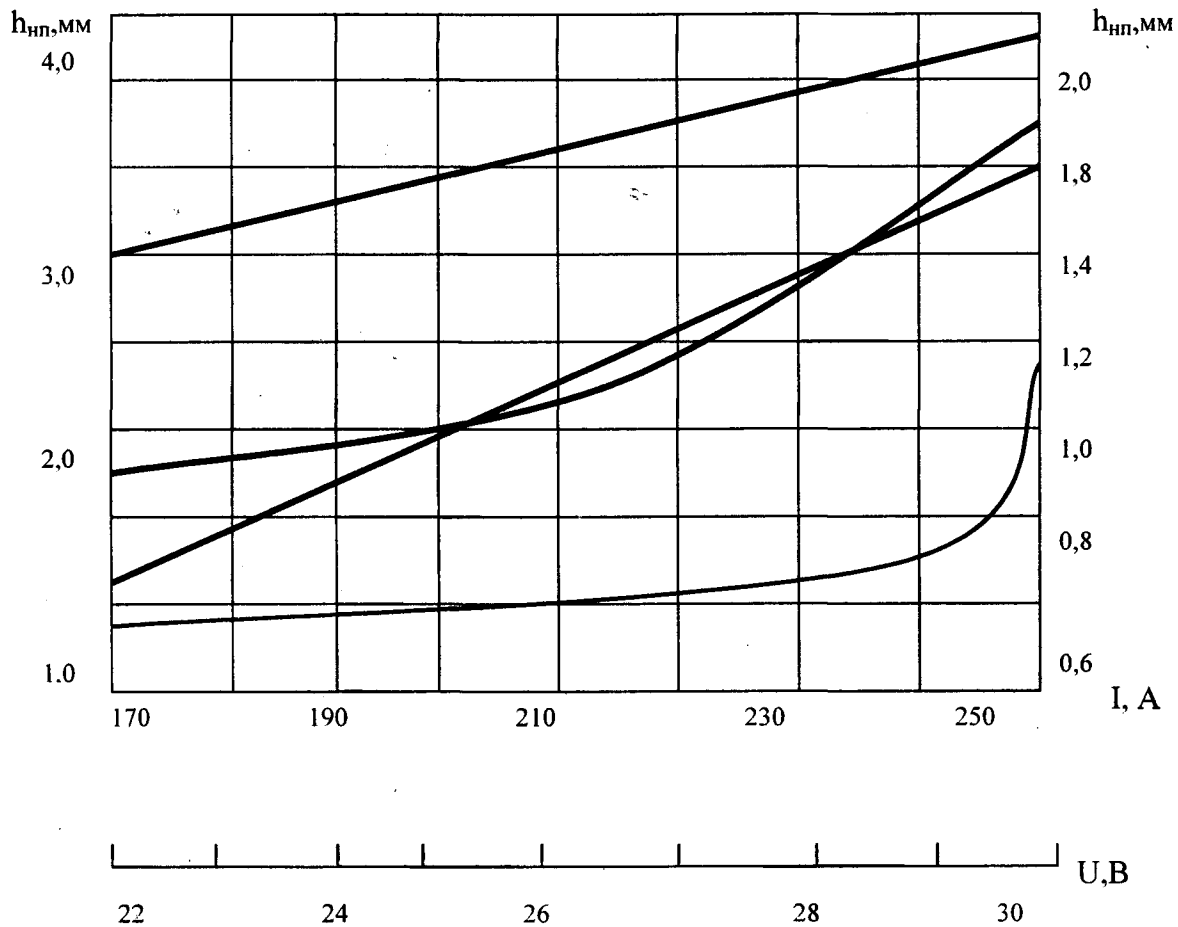


Рис.2. Зависимость высоты наплавочного валика $h_{нп}$ (зависимости 3,4) и глубины проплавления $h_{пр}$ основного металла (зависимости 1,2) от силы тока и напряжения при различных подачах порошка: 1,3 – подача порошка $s = 0,4$ г/с; 2,4 – подача порошка $s = 2,3$ г/с

няет получить в верхних слоях наплавленного валика однородную структуру и заданную износостойкость покрытия.

Кроме того, увеличение мощности дуги приводит к выгоранию легирующих элементов, что отрицательно сказывается на физико-механических характеристиках наплавленного слоя. Увеличение подачи порошка в зону наплавки приводит к росту наплавочного валика, но создает неоднородность и низкую сцепляемость частичек металла в поверхностном слое.

Ввод порошковой присадки наиболее эффективен при подаче ее в хвостовую часть сварочной ванны. Это можно объяснить тем, что частицы твердого материала попадают в расплав в момент кристаллизации основного металла и влияют на формирование структуры, что обеспечивает создание однородной износостойкой поверхности.

В результате отработки технологии электродуговой наплавки в среде углекислого газа с введением в расплав твердых износостойких частиц металлопорошка ПГ – СРЗ ГОСТ 21448 – 75 в качестве присадочного материала путем

вдувания порошка углекислым газом в расплав металла были экспериментально получены оптимальные режимы. Результаты экспериментов показывают влияние на формирование наплавленного валика (распределение твердых, износостойких частиц по объему, высота наплавочного слоя, глубина проплавления) величины давления углекислого газа и расхода порошка, подаваемых в зону наплавки.

Результаты экспериментов показывают, что увеличение давления углекислого газа выше 3МПа приводит к разбрызгиванию жидкого металла за пределы сварочной ванны, насыщению металла газами и образованию пор. При уменьшении давления и соответственно расходе газа менее 5л/мин, твердые износостойкие частицы не проникают в расплав. Кроме этого, введение порошков со стороны защитного факела ухудшает защиту сварочной ванны от кислорода.

В этой связи способ введения твердых частиц внутрь защитного газового факела, не разрывая его целостности, в крайнюю (хвостовую) часть расплава металла является предпочтительным.

Такой способ введения твердых частиц в сварочную ванну имеет ряд преимуществ, по сравнению с известными:

- обеспечивает получение качественных износостойких поверхностей с заданными физико-механическими характеристиками;

- защищает присадочный порошковый материал от окисления в зоне высокотемпературного поля электродуги;

- дает возможность подавать присадки непосредственно в зону кристаллизации, что благоприятно сказывается на формировании заданных структур;

- позволяет удерживать присадочные порошки в ограниченном пространстве защитного газового факела, что обеспечивает ведение процесса без излишних потерь высоколегированных твердосплавных материалов.

Кроме того, увеличение мощности дуги приводит к выгоранию легирующих элементов, что отрицательно сказывается на физико-механических характеристиках наплавленного слоя. Увеличение подачи порошка в зону наплавки приводит к росту наплавочного валика, но создает неоднородность и низкую сцепляемость частиц

металла в поверхностном слое. Результаты экспериментов заложены в технологический процесс восстановления деталей (траки, катки гусеничных тракторов) который внедрен в ремонтное производство.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. – М.: Машиностроение, 1973. – 448с.
2. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. Под ред. Патона Б.Е. – М.: Машиностроение, 1974. – 768с.
3. Ленивкин В.А. Дюргеров Н.Г., Сагиров Х.Н. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. – М.: Машиностроение, 1989. – 264с.
4. Кураш В.В., Хроленок В.В. Влияние легирующих присадок из феррохрома на процесс электродуговой наплавки в среде углекислого газа. В сб. Сварка и родственные технологии. № 2, Мн., 1999г. – С. 111- 114.
5. Аснис А.Е., Гутман Л.М., Покладий В.Р., Юзькив Я.М. Сварка в смеси активных газов. – Киев: Наукова думка, 1982. – 216с.

УДК 664

МИНЕРАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В НЕТРАДИЦИОННЫХ И НОВЫХ ВИДАХ ПИЩЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ

И.Н.Фурс, к.т.н., профессор (УО БГАТУ); Е.В.Коляда, ассистент (УО БГЭУ)

Современная концепция создания устойчивой продовольственной базы страны исходит из необходимости максимального и рационального использования всех пищевых компонентов сырьевых ресурсов.

В агропромышленном комплексе Республики Беларусь недостаточно полно используются вторичные сырьевые ресурсы зерновой, плодоовощной, молочной, пивоваренной и других отраслей промышленности. В результате в отходы производства, остающиеся после использования сырья и вспомогательных производственных материалов для получения основной продукции, попадают ценные компоненты, обладающие определенным составом и высокой биологической ценностью.

Комплексному использованию отходов производства и побочных продуктов всегда уделялось большое внимание. Разрабатываются новые подходы, базирующиеся на научно обоснованных физических, хими-

ческих и биологических принципах и законах; прогрессивные и экологически безопасные способы переработки и использования таких ресурсов на основе приемов по извлечению и концентрированию ценных компонентов. Значение данной проблемы определяется первостепенной важностью не только получения дополнительных резервов высококачественного сырья, а также создания продуктов питания нового поколения, способных повышать резистентность организма человека.

В этой связи определенный интерес представляют пшеничные отруби, зародышевые хлопья, пивная дробина, сухая пшеничная клейковина, свекловичный, яблочный и морковный жомы, сухое обезжиренное молоко (СОМ). Это сырье является перспективным источником добавок, обладающих антиокислительными, фитонцидными свойствами, обогащающих пищевыми волокнами, минеральными компонентами и дру-