

Т.С. Скобло, д-р. техн. наук, А.И. Сидашенко, канд. техн. наук, проф., Р.В. Ридный, канд. техн. наук, доц., В.М. Власовец, канд. техн. наук, доц.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенка

Повышение твердости покрытия микролегированием и оптимизацией параметров их нанесения

Комплексными исследованиями установлено, что введение 5-7% зольных отходов ТЭС во флюс АН-348 позволяет получить твердость металла покрытия на уровне 42-47 HRC без проведения дополнительной термообработки. Выполнена оптимизация параметров нанесения покрытия, которая обеспечила стабильный уровень твердости.

вторичный вал, наплавка под слоем флюса, коэрцитивная сила, твердость, оптимизация, покрытие

Вступление. Основная причина эксплуатационных отказов валов – износ различной интенсивности рабочей поверхности. Наиболее распространенными приемами реновации изношенного слоя валов являются наплавка под слоем флюса.

Анализ литературных данных и постановка задачи. В настоящее время отсутствует единая точка зрения по наиболее эффективному технологическому приему нанесения покрытия для реновации изношенного слоя валов [1]. Кроме того, не ясно как проводить процесс наплавки, чтобы обеспечить минимальный уровень напряжений, уменьшить склонность к повреждаемости и по возможности максимально сохранить исходные свойства всего вала [2]. Традиционно, наплавку валов проводят под слоем флюса АН-348 проволокой Нп-30ХГСА, что, однако, не обеспечивает необходимой твердости [3]. После такой наплавки необходима энергетически затратная термическая обработка изделия. Наиболее эффективным в данном случае представляется обеспечение необходимого уровня твердости шлицев – 44-47 HRC еще при наплавке путем ввода дополнительных микролегирующих добавок, а также оптимизации режимов процесса. Несмотря на значительное количество публикаций по легированию наплавленного металла, вопросам микролегирования зольными отходами производства уделено мало внимания. Введение зольных отходов позволяет дозированно ввести добавки легирующих элементов в наплавленный металл и обеспечить высокий экономический эффект.

Поэтому **целью работы** является повышение твердости покрытия при наплавке под слоем флюса путем ввода дополнительных микролегирующих добавок в виде зольных отходов во флюс, а также оптимизации режимов процесса. Прогнозирование структурного состояния и свойств по коэрцитивной силе (H_c).

Экспериментальная часть. В качестве покрытия использовали широко применяемую и недефицитную низколегированную наплавочную проволоку Нп-30ХГСА Ø1,6 мм. Покрытие наносили под слоем плавленного флюса АН-348А на установке УД-209. Использовали микролегирование добавлением в стандартный флюс зольных отходов Змиевской ГРЭС. Химический состав зольных отходов: 19,3-20,0% Fe; 12,7-14,2% Al; 1,92,0% Mg; 0,6-1,0% Cu; 0,45-0,6% Mn; 0,12-0,15% Cr; 1,2-1,5% Ti; 1,2-1,7% V; 3,9-4,4% Ce; 0,02-0,04% S; 0,02-0,03% P; остальное Si. После высушивания и прокаливания при температуре 350°C зольные отходы дробили и сортировали на ситах

для отделения фракции с размером зёрен 0,5-3,0 мм, что соответствовало гранулам стандартного флюса. Объёмный вес зольных отходов составил 1,55 гр/см³, объёмный вес флюса АН-348А - 1,65 гр/см³, т.е разница достигала не более 7%. Для выбора оптимальной добавки, высушенные и отсортированные зольные отходы тщательно перемешивали с флюсом, изменяя количество добавки в интервале 0-20%.

Исходный металл покрытия содержит незначительное количество неметаллических включений и пор размером 4-12 мкм (рис. 1, а) и табл. 1). Основной размер включений (более 90%) имеют размер до 7 мкм. Такие дефекты, как раковины, надрывы и трещины появляются при добавке $\geq 10\%$ зольных отходов, что связано с недостаточной растворимостью зольных отходов. Дендриты в наплавленном металле имеют вытянутую форму с коэффициентом неравноосности (отношение длины к диаметру) 2,3.

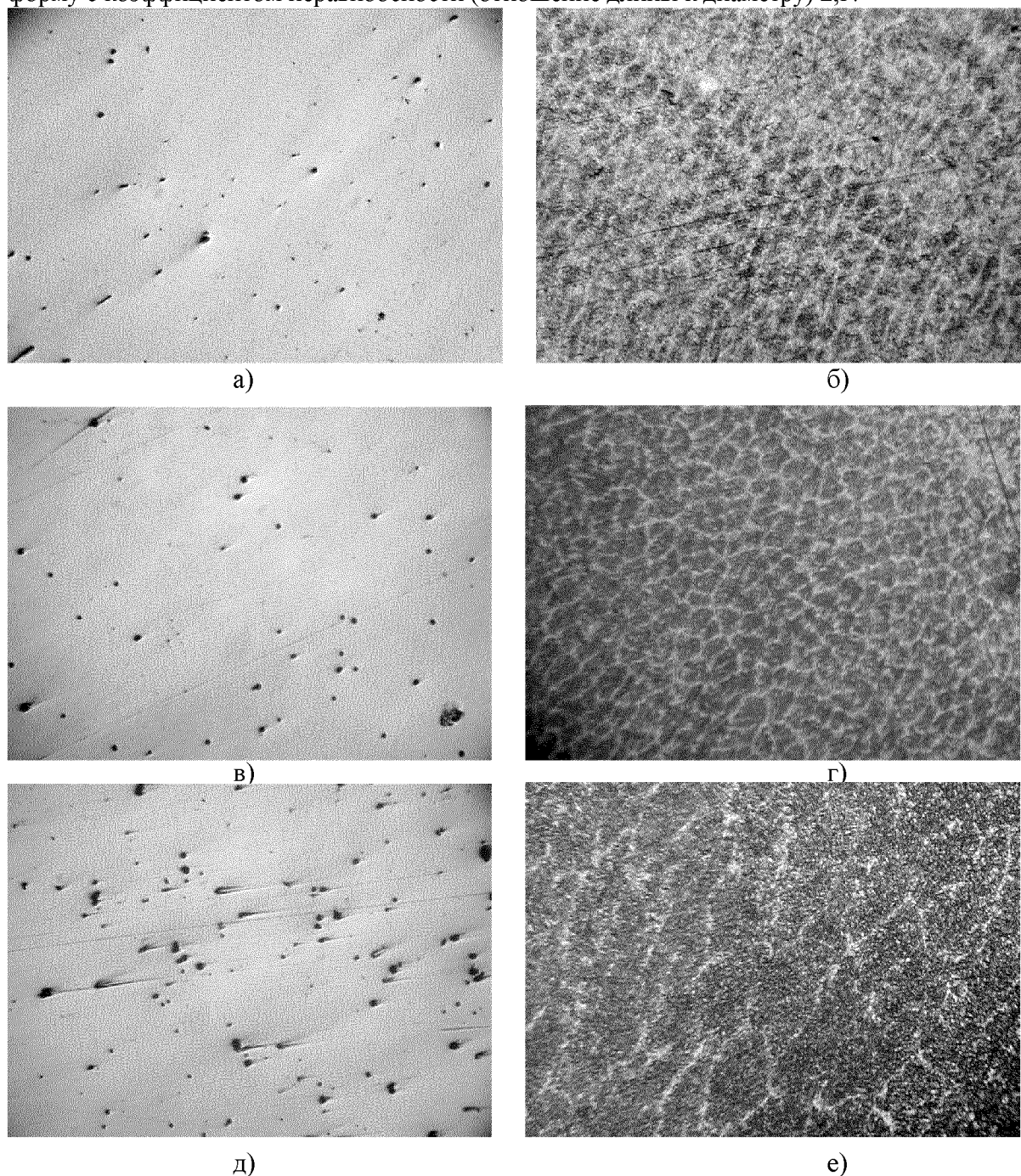


Рисунок 1 - Покрытие: а,б - без добавки золы; в,г - 5%; д, е - 20%; а, в, д - не травлено, $\times 100$; б, г, е - структура после травления (4%-ным раствором HNO_3 в этиловом спирте), $\times 200$

Таблица 1 - Структурные и физико-механические характеристики наплавленного металла

Доля зольных добавок, %	Размер включений, мкм	Микро-твёрдость	Размер дендритов в направлении		Количество включений, %	Твёрдость, HRC	H_c , А/см
			поперечном	продольном			
0	<u>4-12</u> 5,9	<u>310-362</u> 337	<u>10,9-15,3</u> 12,1	<u>25,5-33,6</u> 27,8	<u>0,32-0,50</u> 0,46	<u>35-42</u> 38,7	<u>6,2-7,1</u> 6,7
5	<u>2-12</u> 6,2	<u>310-362</u> 341	<u>9,2-17,6</u> 11,3	<u>11,4-33,6</u> 17,4	<u>0,25-0,46</u> 0,38	<u>42-47</u> 44,3	<u>8,8-9,6</u> 9,1
10	<u>2-14</u> 7,1	<u>252-321</u> 281	<u>23,6-24,2</u> 23,9	<u>35,9-54,3</u> 48,9	<u>0,35-0,71</u> 0,58	<u>39-45</u> 42,4	<u>8,1-8,5</u> 8,3
15	<u>4-16</u> 8,3	<u>252-280</u> 278	<u>34,4-34,7</u> 34,6	<u>45,3-59,1</u> 54,5	<u>1,52-2,6</u> 1,84	<u>30-34</u> 32,8	<u>7,8-8,4</u> 8,1
20	<u>4-16</u> 4,8	<u>237-289</u> 269	<u>46,9-60,3</u> 53,4	<u>77,6-92,7</u> 86,5	<u>1,60-3,10</u> 2,01	<u>29-35</u> 32,0	<u>7,6-8,5</u> 8,0

Примечание. Измерения на глубине 1 мм от поверхности для покрытия сформированного за два прохода по винтовой линии.

Дополнительный ввод 5% зольных отходов Змиевской ГРЭС способствует некоторому уменьшению количества неметаллических включений и пор - на 17%, и увеличению их размеров на 5% (см.рис. 1, в,г). С вводом зольных отходов размер дендритов значительно уменьшился на 37,4%, снизился также коэффициент неравноосности до 1,5. Ввод 10% зольных отходов в состав флюса увеличивает как средний размер включений на 20% по сравнению с наплавкой без микролегирования, так и, замедляя охлаждение, способствует увеличению размеров дендритов на 75%, коэффициента их неравноосности до 2,04.

При введении 15-20% зольных отходов резко увеличивается количество включений в поле зрения шлифа практически в 4 раза, за счет большого числа более крупных и мелких частиц. Средний размер включений увеличивается на 40%. Причём, по характерным следам, оставляемым после полировки шлифов, можно утверждать, что это твёрдые включения. В большем количестве появляются дефекты, особенно поры. Растет неравноосность дендритов и их размер.

Анализ размеров дендритов в рабочем слое показал, что покрытие с 5% добавкой золы во флюс имеет меньшие размеры, чем покрытия с 10, 15 и 20% добавками. Известно что, структура металла с более мелкозернистым строением отличается повышенной твёрдостью а, следовательно, и износостойкостью по сравнению с грубозернистой структурой.

Выполнили оценку возможности прогнозирования изменений структуры наплавленного металла по магнитному параметру. Для оценки влияния различных факторов на уровень H_c установили ряд зависимостей:

$$H_c = 9,1 - 0,1d_{вкл}; \quad (1)$$

$$H_c = 12,7 - 2,5N_{н.о.}; \quad (2)$$

$$H_c = 7,9 - 0,4N_{вкл.}, \quad (3)$$

где $d_{вкл}$ – средний размер включений, мкм;

$N_{н.о.}$ – коэффициент неравноосности дендритов наплавленного металла, представляющий собой отношение длины к ширине;

$N_{вкл.}$ - количество включений в плоскости зрения шлифа, %.

Твёрдость покрытия с добавками достигает 42-47 HRC по сравнению с покрытием без добавки (35-42 HRC), т.е. увеличилась до 35%. С увеличением доли зольных отходов во флюсе твёрдость уменьшается, и при введении их в количестве 20%, она достигает 29-35 HRC. Такая доля добавки приводит к уменьшению твёрдости ниже уровня исходного покрытия, что связано с формированием повышенной пористости в покрытии. Значения твёрдости металла покрытия с 5-7% добавки отличаются стабильностью, для этого случая характерен и наименьший разброс значений (в среднем – 5-6%).

Проведены исследования по оптимизации режимов нанесения металла покрытия методом электродуговой наплавки на основе прогнозирования свойств по H_c . Для прогнозирования уровня твердости по H_c и достижения стабильных показателей рекомендована зависимость:

$$HRC = 6,25H_c - 12,9 \quad (4)$$

Входные параметры: сила тока (I), А; скорость перемещения дуги (скорость нанесения покрытия), (V), м/ч; доля зольных отходов (D), %. Выходные параметры - твердость поверхностного слоя покрытия (HRC). Выполнено математическое планирование эксперимента для получения зависимости: $HRC=f(I, V, D)$. Для создания математической модели был выбран рототабельный план второго порядка на три фактора. Для построения план - матрицы эксперимента выполнили кодирование факторов (табл. 2).

Таблица 2 - Кодирование факторов при оптимизации режимов нанесения покрытия

Интервал варьирования и уровень факторов	Сила тока I , °А	Скорость перемещения дуги V , м/ч	Доля зольных отходов D , вес. %
Нулевой уровень	190	22	10
Интервал варьирования	30	4	5
Нижний уровень	160	18	5
Верхний уровень	220	26	15
Кодовое обозначение	X_1	X_2	X_3

В результате проведенных расчётов было получено следующие уравнение регрессии:

$$HRC = 43,4 - 4,67X_1 - 1,84X_2 + 1,21X_3 + 0,875 X_1 X_2 - 0,375 X_1 X_3 + 0,125 X_2 X_3 - 2,77X_1^2 - 1,01X_2^2 - 1,36X_3^2 \quad (5)$$

Влияние режимов процесса нанесения покрытия на твердость поверхностного слоя HRC представлены на рис. 2-4.

Для случая постоянной скорости перемещения дуги V (см. рис. 2), анализировали совместное влияние доли вводимой золы во флюс D и силы тока I на твердость металла покрытия.

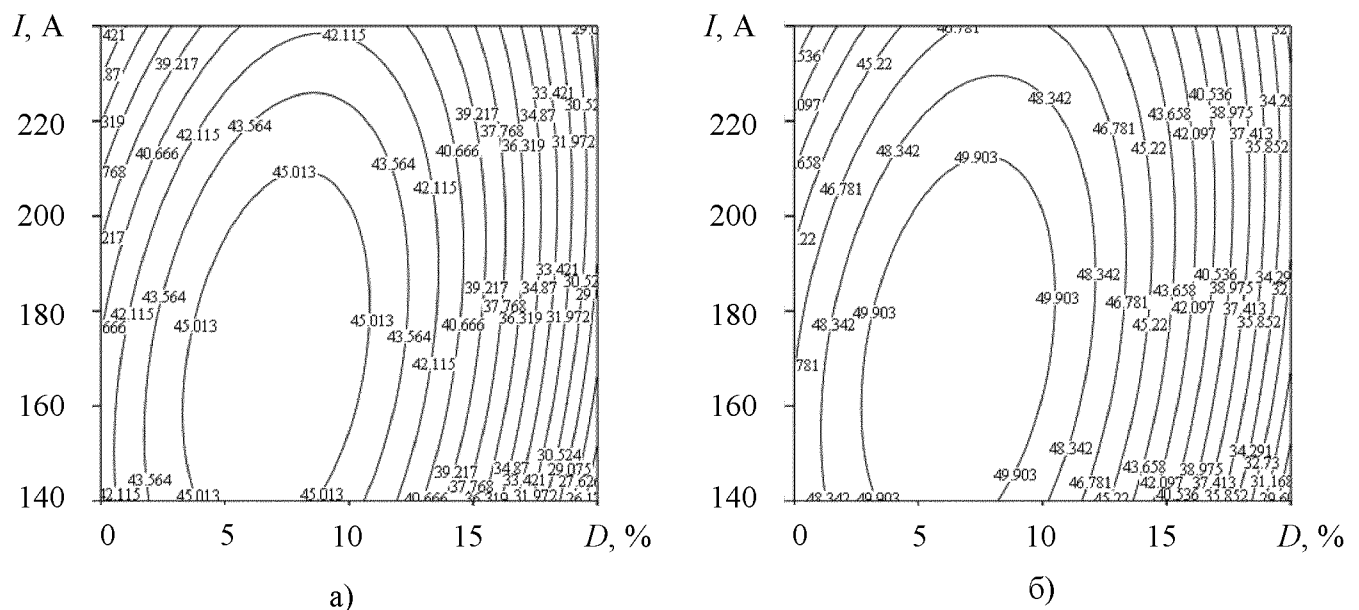


Рисунок 2 - Влияние доли добавки зольных отходов во флюс D (%) и силы тока I (А) на твердость (HRC) нанесенного покрытия при скорости перемещения дуги: а - $V=16$ м/ч; б - $V=22$ м/ч

Поверхность отклика имеет вид эллиптического параболоида с длинной осью, ориентированной в направлении изменения силы тока. Это свидетельствует о значительно большем влиянии доли золы во флюсе D по сравнению с силой тока I на исследуемый параметр HRC . Из рис. 2 (а, б) видно, что оптимальные значения доли легирующей золы во флюсе D колеблются в пределах 5-7%, а сила тока $I=160-180A$ при скорости перемещения дуги $V=22m/ч$.

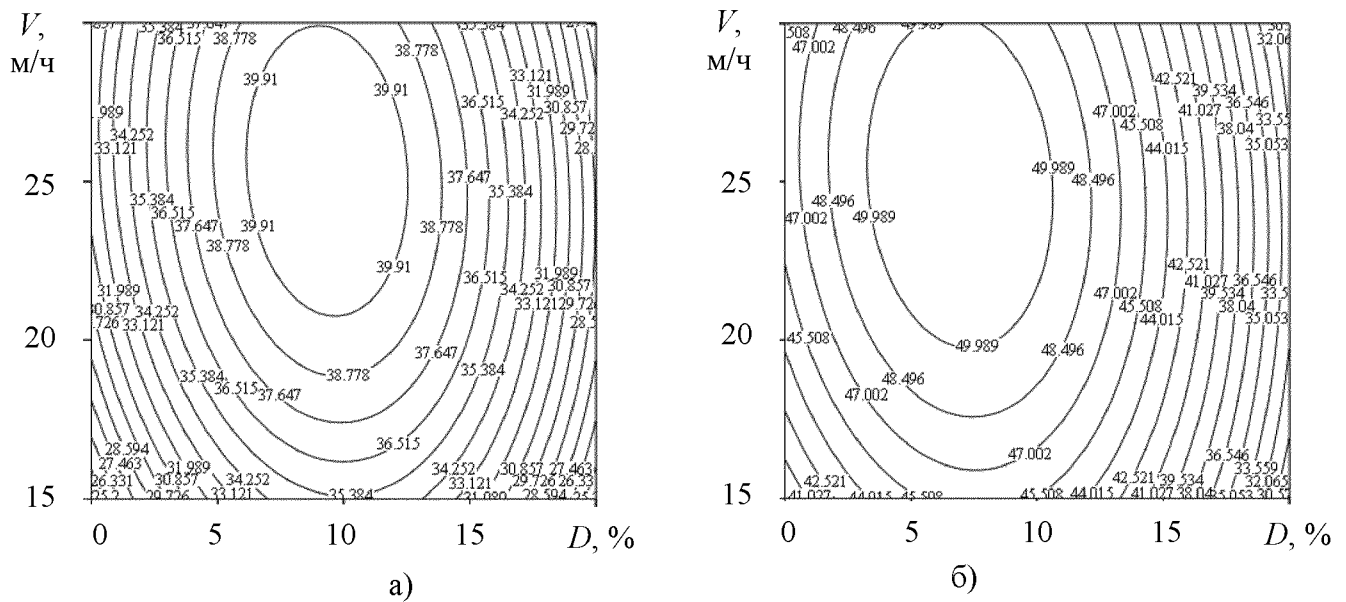


Рисунок 3 - Влияние доли добавки зольных отходов во флюсе D (%) и скорости перемещения дуги V (м/ч) на твёрдость (HRC) нанесенного покрытия при силе тока I (А): а - $I=190A$; б - $I=280A$

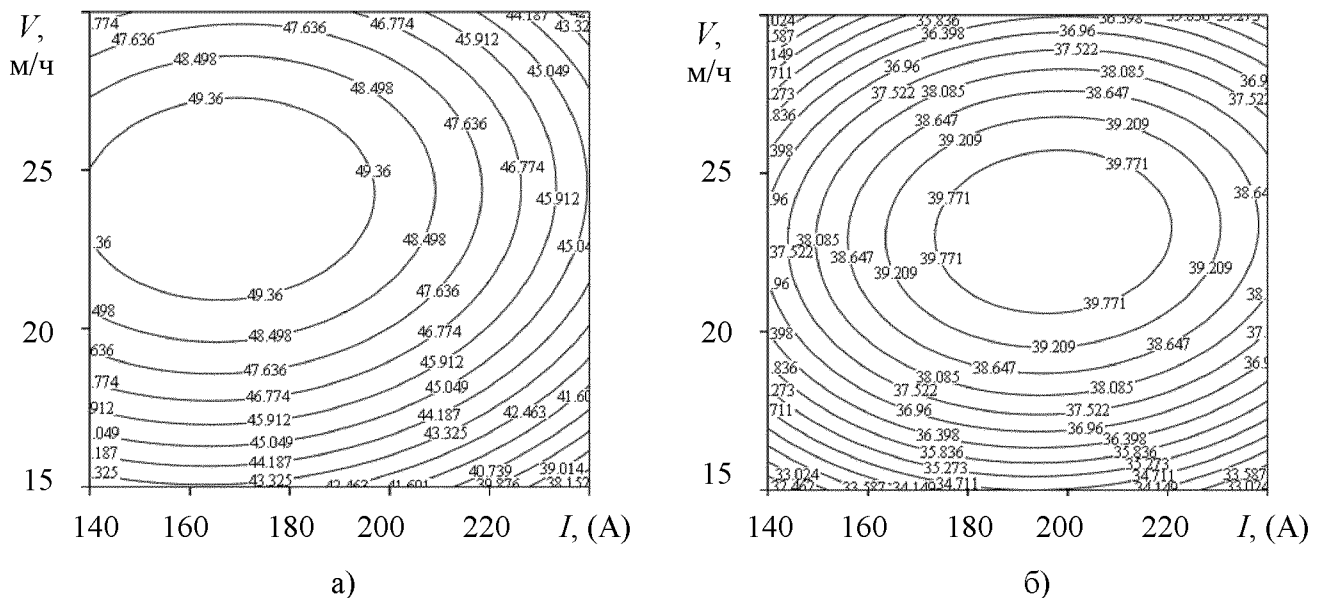


Рисунок 4 - Влияние силы тока I (А) и скорости перемещения дуги V (м/ч) на твёрдость (HRC) покрытия при доле добавки зольных отходов во флюс: а - $D=5\%$; б - $D=15\%$

Рассматривая случай, когда не изменяется сила тока (см. рис. 3), формируется поверхность отклика подобная предыдущей. Анализ линий сечения полученной поверхности свидетельствует об аналогичном характере совместного влияния доли золы и скорости перемещения дуги на твердость. Только в данном случае изменение скорости оказывает меньшее влияние, чем сила тока, о чём свидетельствует

вытянутость эллипса в вертикальном направлении. Также хорошо видно, что оптимальным является доля легирующей золы во флюсе равная $D=5-7\%$, а скорость перемещения дуги $V=23-27\text{м/ч}$.

Поверхность отклика при взаимном влиянии силы тока и скорости перемещения дуги на твердость при постоянном количестве добавки легирующей золы во флюс (рис. 4), также имеет вид эллиптического параболоида, однако эллипсы линий уровня менее вытянуты, что свидетельствует о примерно равнозначном влиянии силы тока и скорости перемещения дуги, хотя просматривается незначительно большее влияние на твердость покрытия поверхности силы тока, в сравнении со скоростью перемещения дуги. Из данных зависимостей также можно определить оптимальные параметры процесса: $I=160-180\text{А}$, $V=23-27\text{м/ч}$, что полностью соответствует ранее полученным данным. Оптимизация параметров нанесения покрытия позволила обеспечить стабильность и несколько повысить уровень твердости до 47-49 HRC. Разработанная технология нанесения покрытия защищена патентом Украины [4].

Учитывая, что добавка зольных отходов во флюс обеспечивает формирование более мелкого зерна за счёт микролегирования V и Ti , то можно ожидать и повышение прочности.

Выводы:

1. Компенсация изношенного слоя наплавкой проволокой Нп-30ХГСА под слоем флюса позволяет получать твердость рабочих поверхностей в интервале 35-38HRC. Это значение твердости в ряде случаев не удовлетворяет требованиям технических условий и вызывает необходимость проведения упрочняющей обработки. Введение 5-7% зольных отходов ТЭС во флюс позволяет получить твердость металла покрытия на уровне 42-47 HRC, без проведения дополнительных технологических операций, а оптимизация режимов нанесения - до стабильного уровня 47-49 HRC.

2. Анализ структуры и свойств покрытий, наносимых автоматической дуговой наплавкой под слоем флюса с добавкой зольных отходов, позволил обеспечить измельчение зерна. Наблюдаемый эффект достигается за счёт упрочнения легированием покрытия малыми добавками титана, ванадия, а также алюминия. Весомый вклад вносят и модифицирующие присадки Ca , Mg , Ce , содержащиеся в зольных отходах, которые снижают концентрацию вредных примесей. Материалы исследований защищены патентом Украины UA 13760 [4].

Список литературы

1. Сварка в машиностроении: справочник в 4-х т. / [Редкол.: Г.А. Николаев (пред.) и др. под ред. А.И. Акулова]. – М.: Машиностроение, 1978. – Т.2. – 462 с.
2. Скобло Т.С. Исследование различных способов ремонта шлицевых валов. / Т.С. Скобло, А.И. Сидашенко, А.А. Гончаренко // Вісник ХНТУСГ. – 2009 - № 76, С.11-15.
3. Методика расчета шлицевых соединений вторичных валов подвергаемых реновации изношенного слоя. / [Власовец В.М., Скобло Т.С., Ридный В.Ф. и др.] // Вісник ХНТУСГ. Випуск № 77. Харків 2009, С.9-14.
4. Патент 13760 Украины “ Флюс для нанесения покрытия”, / [Скобло Т.С., Ридний Р.В., Коломієць В.В., Сідашенко О.І., Рідний В.Ф., Власовець В.М.], № u200509975; заявл. 24.10.2005; опубл. 17.04.2006, Бюл. №4.

Т.Скобло, А. Сідашенко, Р.Рідний, В. Власовець

Підвищення твердості покриття мікролегуванням і оптимізацією параметрів їх нанесення

Комплексними дослідженнями встановлено, що додавання 5-7% зольних відходів ТЕС до флюсу АН-348 дозволяє отримати твердість металу покриття на рівні 42-47HRC, без проведення додаткової термообробки. Виконана оптимізація режимів нанесення, що забезпечила стабільний рівень показника 47-49 HRC.

T. Skoblo, A.Sidashenko, R.Ridnyy, V. Vlasovec

Increase hardness of coverage a microalloying and optimization of parameters of their causing

It is set complex researches, that introduction 5-7% offcuts in a gumboil AN-348 allows to get hardness of metal of coverage at the level of 42-47 HRC without the leadthrough of additional heat treatment. The executed optimization of the modes of causing provided the stable level of index 47-49 HRC.

Одержано 11.09.09