

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ УКРАИНЫ

А. А. ГОЛЯКЕВИЧ¹, Л. Н. ОРЛОВ¹, Л. С. МАЛИНОВ², В. И. ТИТАРЕНКО³

¹ ООО «ТМ.ВЕЛТЕК». 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 15. E-mail: office@veldtec.ua

² ГВУЗ «Приазовский гос. техн. ун-т». 87500, г. Мариуполь, ул. Университетская, 7

³ ЧНПКФ «РЕММАШ». г. Днепропетровск, просп. им. Газеты Правды, 29

Наплавка порошковой проволокой находит значительное применение во многих отраслях промышленности и, прежде всего, в ремонтных работах. Наибольшим производителем порошковых проволок для наплавки в Украине в настоящее время является предприятие ООО «ТМ.ВЕЛТЕК». В данной работе описаны разработки этого предприятия и опыт использования их при ремонтной наплавке валков прокатных станков, роликов МНЛЗ, кранов колес, а также роликов правильных машин и ответственных деталей гидрокрепей горно-шахтного оборудования. Библиогр. 20, табл. 2, рис. 7.

Ключевые слова: дуговая наплавка, порошковые проволоки, ремонтные работы, износостойкость, твердость, микроструктура, повышение ресурса.

Первые порошковые проволоки для электродуговой наплавки были разработаны в 1950-х годах в ИЭС им. Е. О. Патона [1]. В последующие годы в силу универсальности, простоты и экономичности технологии изготовления этот тип электродных материалов для дуговой наплавки получил значительное распространение в различных отраслях промышленности [2–4]. При этом большинство марок порошковых проволок различного назначения были разработаны в ИЭС им. Е. О. Патона и изготавливались экспериментальным производством ИЭС и Опытным заводом сварочных материалов ИЭС [5–7]. В 1990-е и последующие годы производство порошковых проволок для сварки и наплавки в Украине освоил ряд новых фирм, появились на рынке Украины и порошковые проволоки иностранных фирм.

В данной статье описан опыт применения в различных отраслях промышленности порошковых проволок, которые разработаны и изготавливаются ООО «ТМ.ВЕЛТЕК».

Наплавка валков прокатных станков. Ремонтные службы металлургических комбинатов Украины для наплавки стальных валков прокатных станков различного назначения применяют электродуговую наплавку порошковыми проволоками ПП-Нп-35В9Х3СФ, ПП-Нп-25Х5ФМС, ПП-АН132, ПП-АН147 и т. д. [1, 2, 6]. Основными причинами выхода из строя стальных валков горячей прокатки являются окислительное и абразивное изнашивание и термическая усталость. В значительной мере такой износ рабочей поверхности вала связан со структурным состоянием металла и морфологией его структурных составляющих [8, 9].

Для наплавки валков блюминговых станков ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» предложена порошковая проволока Велтек-Н505 (система легирования Fe–C–Si–Mn–W–Cr–Mo–Ni–V). Существующие методики испытания на термическую стойкость, теплостойкость и изнашивание при высоких температурах не позволяют достоверно оценить стойкость наплавленного металла того или иного типа непосредственно в условиях прокатки. Были проведены натурные испытания валков прокатного стана НЗС-730 цеха «Блюминг-1» КГМК «Криворожсталь», наплавленных порошковыми проволоками ПП-Нп-35В9Х3СФ и Велтек-Н505 (Fe–C–Si–Mn–W–Cr–Mo–Ni–V).

Усредненные показатели относительной износостойкости и относительной стойкости против образования трещин разгара наплавленных валков прокатного стана НЗС-730 приведены в табл. 1. По сравнению с проволокой ПП-Нп-35В9Х3СФ образование и развитие трещин разгара по глубине их проникновения снижено в 2...4 раза [10], что существенно снижает глубину проточки при ремонте валков.

Исследовали микроструктуру наплавленного металла обоих типов. Структура металла, наплавленного проволокой ПП-Нп-35В9Х3СФ, представляет крупноигольчатый мартенсит с островками остаточного аустенита и протяженных

Таблица 1. Износостойкость и трещиностойкость наплавленных валков прокатного стана НЗС-730 цеха «Блюминг-1» КГМК «Криворожсталь»

Марка порошковой проволоки	Твердость наплавленного металла <i>HRC</i>	Относительная износостойкость	Относительная трещиностойкость
ПП-Нп-35В9Х3СФ	46...48	1,0	1,0
Велтек-Н505	50...54	1,3	2,0

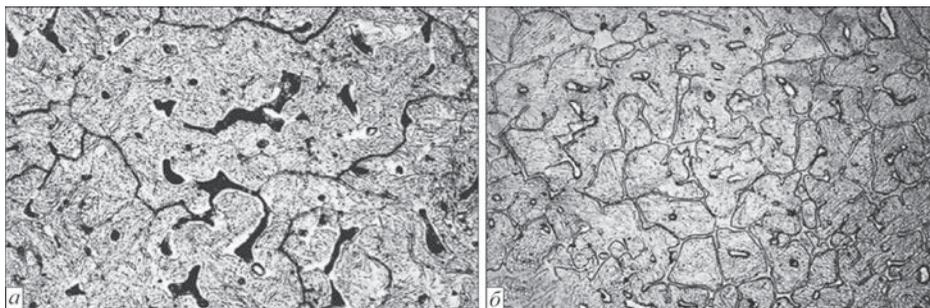


Рис. 1. Микроструктура ($\times 500$) металла, наплавленного проволокой: а — ПП-Нп-35В9Х3СФ; б — Велтек-Н505

прослойка карбидных эвтектик по границам первичных аустенитных зерен (рис. 1, а). В теле зерен и на их границах наблюдаются карбиды хрома, вольфрама и дисперсные карбиды ванадия.

Металл, наплавленный проволокой Велтек-Н505, имеет преимущественно структуру мелкоигльчатого мартенсита с оторочками остаточного аустенита по границам первичных зерен. Внутри зерен также наблюдаются равномерно распределенные карбиды хрома, вольфрама, молибдена и ванадия (рис. 1, б).

Для наплавки валков первой и второй клетей трубопрокатного стана ТПА 30–102 Никопольского завода бесшовных труб ЗАО «Нико Тьюб» предложена порошковая проволока Велтек-Н480НТ (система легирования Fe–C–Si–Mn–Cr–V–Mo–W). Структура металла, наплавленного этой проволокой, состоит из мелкоигльчатого мартенсита, остаточного аустенита по границам зерен и мелких образований в теле зерен (рис. 2). Карбидных выделений по границам зерен мало. Дисперсные карбиды равномерно распределены в теле зерен и по их границам. Твердость наплавленного металла *HRC* 50...56.

Валки первой клетки, наплавленные порошковой проволокой Велтек-Н480НТ, были извлечены из стана после прокатки 5000 т труб. Износ по дну калибра составил 0,3...0,5 мм. Состояние поверхности калибров валков удовлетворительное, поверхность гладкая и трещины отсутствуют. Износ валков второй клетки составил 1,5...2,0 мм после прокатки 8790 т труб. Ресурс валков второй клетки повышен с 1200 до 8000 т проката труб.

Наплавка роликов МНЛЗ. Отечественный [11–14] и мировой опыт показывают, что для наплавки рабочего слоя роликов МНЛЗ преимущественно используются следующие системы

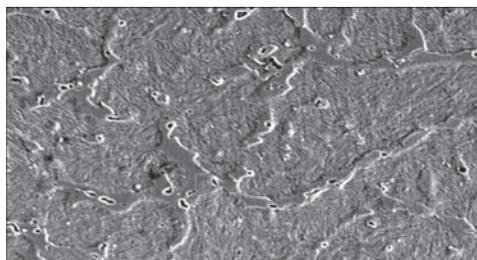


Рис. 2. Микроструктура ($\times 1000$) металла, наплавленного проволокой Велтек-Н480НТ

легирования: Fe–C–Cr (преимущественно для прямолинейных участков МНЛЗ); Fe–Cr–Ni–Mo–N и Fe–C–Cr–Ni–Mo–V–Nb (преимущественно для криволинейных участков МНЛЗ).

Для наплавки роликов МНЛЗ ООО «ТМ. ВЕЛТЕК» предложены порошковые проволоки Велтек-Н470 (для наплавки под флюсом) и Велтек-Н470G (для наплавки в смеси защитных газов) системы легирования Fe–C–Cr–Ni–Mo–V–Nb–N.

При изготовлении и ремонте роликов на ММК им. Ильича, Азовсталь (г. Мариуполь), НКМЗ (г. Краматорск) применяют технологию наплавки порошковой проволокой Велтек-Н470 диаметром 3,0...3,6 мм под флюсами АН-20 или АН-26 по винтовой линии одиночной дугой, без колебаний и с поперечными колебаниями. Старокраматорский машиностроительный завод (г. Краматорск) выполнял наплавку роликов МНЛЗ порошковой проволокой Велтек-Н470G диаметром 2,0 мм в смеси защитных газов 82 % Ar + 18 % CO₂.

Твердость наплавленного металла после чистой обработки составляет *HRC* 44...48 и соответствовала техническому заданию заказчика. Структура наплавленного металла представляет низкоуглеродистый мелкоигльчатый мартенсит, упрочненный дисперсными карбидами и нитридами (рис. 3). На МК «Азовсталь» (г. Мариуполь) изготовительная и ремонтная наплавка указанными порошковыми проволоками обеспечила наработку роликов радиального участка 3000 плавков и прямолинейного участка — 7500 плавков при объеме одной плавки 175 т.

Наплавка крановых колес. Для наплавки крановых колес, как правило, применяются на-

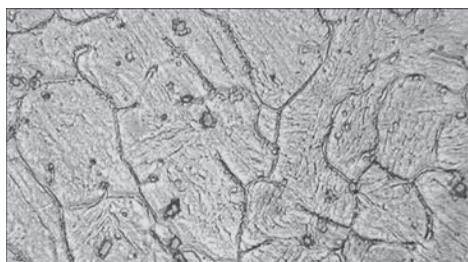


Рис. 3. Микроструктура ($\times 1000$) металла, наплавленного проволокой Велтек-Н470 (объемная доля δ -феррита 5,2 %, твердость после наплавки *HRC* 42...46)

плавочные материалы, обеспечивающие получение наплавленного металла типа низколегированных сталей 18Х1Г1М или 30ХГСА. Однако при наплавке тяжелонагруженных колес кранов, которые эксплуатируются на металлургических предприятиях, эти материалы не обеспечивают необходимый ресурс эксплуатации.

Повышение износостойкости деталей подобного типа можно достичь при использовании плавочных материалов, обеспечивающих получение наплавленного металла со структурой метастабильного аустенита, претерпевающего превращение в мартенсит под влиянием деформаций, возникающих при нагружении детали в процессе эксплуатации [15–18].

На ММК им. Ильича (г. Мариуполь) для наплавки тяжелонагруженных крановых колес предложено применить порошковую проволоку Велтек-Н285.01 (система легирования Fe–C–Cr–Mn–Mo–V). В наплавленном металле этого типа формируется структура метастабильного аустенита, сильно упрочняющегося при наклепе (рис. 4). После отпуска при 600 °С, применяемого для снятия внутренних напряжений, наблюдаются выделения дисперсных карбидов хрома, ванадия и молибдена. Результатом обеднения зерен матрицы углеродом и легирующими элементами, интенсифицируется деформационное мартенситное превращение, что приводит к существенному повышению износостойкости металла наплавленной поверхности катания колеса. По данным рентгеноструктурного анализа на наплавленной поверхности колеса после отжига объемная доля мартенсита увеличилась в 1,5...2,0 раза и составляет 30...35 об. %. Твердость металла после наплавки *НВ* 217...220, а после наклепа *НВ* 380...410.

По данным лабораторных испытаний при трении скольжения по схеме колодка–ролик и абразивном воздействии наиболее высокая износостойкость получена при наплавке порошковой проволокой Велтек-Н285.01 (ПП-Нп-14Х12Г-12МФ) (табл. 2). Реализовано два варианта технологии наплавки крановых колес: 1 — наплавка реборд и поверхности катания проволокой Велтек-Н285.01 и 2 — наплавка поверхности катания проволоками Нп-30ХГСА или ПП-Нп-18Х1Г1М и реборды — Велтек-Н285.01. Достигнуто повышение ресурса крановых колес в 3 раза, что позволяет предприятиям существенно снизить затраты на эксплуатацию кранов.

Наплавка роликов правильных машин. Ролики правильных машин традиционно изготавливаются из стали 90Х1 с поверхностной термической обработкой (ТВЧ или ТПЧ). В процессе наплавки на сталь 90Х1 требуется высокая температура подогрева 400...450 °С и стабильность ее

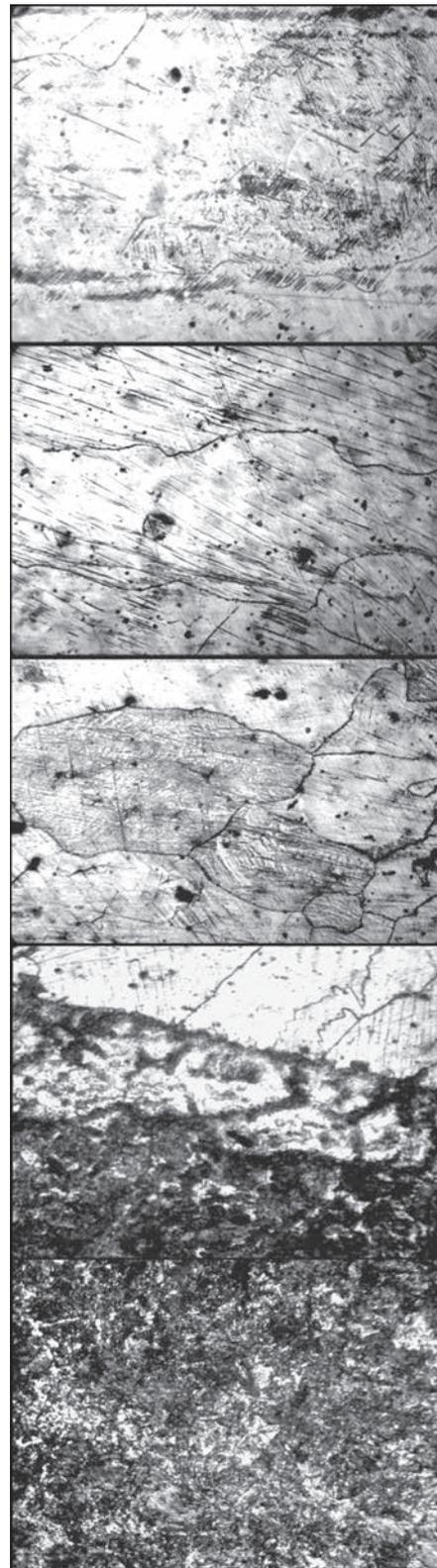


Рис. 4. Микроструктура ($\times 550$) слоев металла от поверхности к основному металлу (сверху вниз), наплавленных порошковой проволокой Велтек-Н285.01

поддержания по всей длине детали из-за высокой склонности стали 90Х1 к образованию горячих и холодных трещин. Однако жесткие условия работы этих роликов, особенно при правке листового и сортового проката из легированных марок стали

Таблица 2. Относительная износостойкость металла, наплавленного проволоками ПП-Нп-18Х1Г1М, Нп-30Х10Г10, Велтек-Н285.01

Наплавочный материал	Режим термообработки	Относительная абразивная износостойкость*	Относительная износостойкость в условиях сухого трения*
ПП-Нп-18Х1Г1М (эталон)	Наплавка + отжиг 550 °С (1 ч)	1,0	1,0
Нп-30Х10Г10	Наплавка + отжиг 550 °С (1 ч)	2,0	3,0
Велтек-Н285.01	Наплавка + отжиг 600 °С (1 ч)	2,3	3,2

*Определены отношением потери массы наплавленного металла эталона к потере массы соответствующего наплавленного металла.

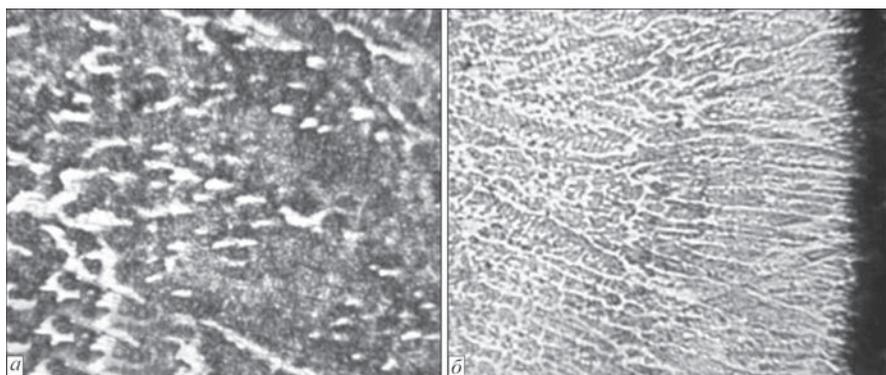


Рис. 5. Микроструктура (а — $\times 1000$, б — $\times 100$) металла рабочего слоя ролика, наплавленного порошковой проволокой Велтек-Н545

с окалиной приводят к преждевременному выходу их из строя. Недостаточная стойкость роликов правильных машин из стали 90Х1 с поверхностной закалкой даже при обеспечении достаточно высокой твердости ($HRC\ 61...63$) объясняется недостаточным количеством упрочняющих фаз (карбидов, карбонитридов) в структуре металла этих роликов и недостаточной толщиной закаленного слоя (от 1,5 до 5 мм). Кроме того, ролики правильных машин из стали 90Х1 до сих пор никто не ремонтировал из-за неудовлетворительной свариваемости этой марки стали.

Эффективное технологическое решение этой проблемы предложено ООО «Восстановление» (г. Липецк) и ООО «ТМ. ВЕЛТЕК» (г. Киев). Ролики предлагается изготавливать из объемнотермообработанной стали 40Х, а их наплавку выполнять с использованием порошковых проволок Велтек-WT550.01-F (Fe-C-W-Mo-Cr-V) и Велтек-WT545-F (Fe-C-Mo-Cr-V-Ni). Твердость наплавленного слоя при этом составляет $HRC\ 57...60$.

Высокая износостойкость и твердость рабочей поверхности роликов достигается за счет формирования мартенситной структуры, упрочненной дисперсными карбидами, а также уменьшением величины зерна первичной структуры за счет выполнения процесса наплавки проволокой диаметром 2,0 мм на режимах, оптимально сочетающих производительность и тепловложение (рис. 5). Процесс наплав-

ки выполняли на постоянном токе обратной полярности под флюсом АН-26п на режиме: $I_{д} = 260...280\ А$, $U_{д} = 30\ В$, $v_{св} = 28...30\ м/ч$.

Ролики правильных листовых машин с диаметром бочки 190, 230, 250, 360 мм, восстановленные по новой технологии, обеспечили для ОАО «Выксунский металлургический завод» повышение срока службы в 3...4 раза по сравнению с новыми роликами из стали 90Х1 с поверхностной закалкой. Кроме того, стоимость ремонта этих роликов по новой технологии составила менее половины стоимости новых, изготовленных из стали 90Х1.

Наплавка штоков и плунжеров гидрокрепей горно-шахтного оборудования. Штоки и плунжеры гидрокрепей в процессе изготовления подвергаются хромированию. В процессе эксплуатации они подвергаются коррозии и абразивному изнашиванию. Совместно с отделом коррозии Физико-механического института им. Г. В. Карпенко НАН Украины (г. Львов) проведены исследования влияния химического состава наплавленного металла на развитие процесса коррозии [19, 20]. Причиной коррозии является образование карбидов хрома $Cr_{23}C_6$ по границам зерен металла в зоне термического влияния. Дополнительное легирование наплавленного металла обеспечило получение металла со структурой мартенситно-старееющей стали, в котором в процессе сварки и термической обработки образуются интерметаллиды, приводящие к дополнительному упрочнению металла и значительному снижению вероятности образования карбидов хрома $Cr_{23}C_6$ по границам зерен (рис. 6).



Рис. 6. Микроструктура ($\times 1000$) металла упрочняющего слоя, наплавленного проволокой Велтек-Н425

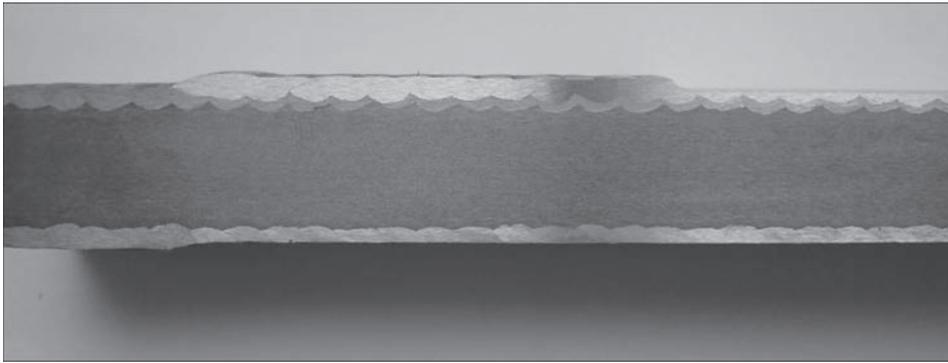


Рис. 7. Макрошлиф фрагмента плунжера (после наплавки)

По результатам исследований оптимизирована система легирования Fe–C–Mn–Si–Cr–Ni–Mo–V порошковых проволок Велтек-Н425, Велтек-Н425.01, Велтек-Н425.02, отличающихся коррозионной стойкостью наплавленного металла в подземных водах различной агрессивности.

Совместно со специалистами завода ЗАО «НПП Спецуглемаш» (г. Горловка) разработана технология двухслойной наплавки проволокой Велтек-Н425 диаметром 2,0 мм под флюсом АН-26п (рис. 7). Толщина наплавленного слоя составляет 3,0...3,5 мм с учетом припуска на механическую обработку 1,5 мм. В период 2005–2010 гг с специалистами завода ЗАО «НПП Спецуглемаш» (г. Горловка) успешно выполнялись работы по наплавке штоков и плунжеров клетей отечественного и зарубежного производства М88, МТ, 1КД80, 3КД90, 3КД90Т, 1М103, ДМ «Глинник», «Фазос», узлов секций крепи МВРО, а также работы по изготовлению новых крепей КГУМ, 1М103, КТС, секций ОПК, стоек СПГ4000, СШ2.00.000. В зависимости от объема заказов потребление наплавочной порошковой проволоки находилось в пределах 7...12 т в месяц.

В заводских условиях успешно применена ремонтная наплавка порошковой проволокой деталей ответственного оборудования. За счет повышения износостойкости рабочих поверхностей достигнуто повышение ресурса оборудования и экономия средств на его ремонт и эксплуатацию.

1. Фрумин И. И. Автоматическая электродуговая наплавка / И. И. Фрумин. – Харьков: Metallurgizdat, 1961. – 421 с.
2. Рябцев И. А. Механизированная электродуговая наплавка деталей металлургического оборудования / И. А. Рябцев, И. А. Кондратьев. – К.: Экотехнология, 1999. – 62 с.
3. Рябцев И. А. Теория и практика наплавочных работ / И. А. Рябцев, И. К. Сенченков. – К.: Экотехнология, 2013. – 400 с.
4. Наплавочные материалы стран-членов СЭВ. Каталог: под ред. И. И. Фрумина и В. Б. Еремеева. – Киев–Москва: Изд. МЦНИТИ, 1979. – 620 с.
5. Порошковые проволоки для наплавки, разработанные в ИЭС им. Е. О. Патона / И. А. Рябцев, И. А. Кондратьев, А. П. Жудра [и др.] // Сварщик. – 2002. – № 2. – С. 34–35.
6. Рябцев И. А. Порошковые проволоки для наплавки стальных валков горячей прокатки / И. А. Рябцев, И. А.

- Кондратьев // Автоматическая сварка. – 2014. – № 6-7. – С. 99–100.
7. ТУУ 28.7.05416923.066-2002. Дроти порошкові наплавні. – К.: ИЭС им. Е. О. Патона, 2002.
8. Кондратьев И. А. Исследование структурной неоднородности наплавленного металла типа 35В9ХЗСФ и ее влияние на работоспособность наплавленных прокатных валков / И. А. Кондратьев, В. Г. Лясов, И. Я. Дзыкович // Автоматическая сварка. – 1996. – № 6. – С. 17–20.
9. Кальянов В. Н. Структура и характеристики износостойкого экономнолегированного наплавленного металла / В. Н. Кальянов // Сварочное производство. – 1997. – № 4. – С. 13–17.
10. Опыт применения высокотехнологичных порошковых проволок для упрочняюще-восстановительной наплавки прокатных валков / В. Г. Лясов, С. А. Панищенко, Д. Ю. Кузьменко [и др.] // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: материалы 10-й междунар. науч.-техн. конф. (Свалыва, 22–26 февр. 2010 г.).
11. Наплавка роликов слябовых машин непрерывного литья заготовок / Л. И. Опарин, В. Л. Маликин, П. В. Гладкий [и др.] // Автоматическая сварка. – 1991. – № 4. – С. 63–66.
12. Домбровский Ф. С. Работоспособность наплавленных роликов машин непрерывного литья заготовок / Ф. С. Домбровский, Л. К. Лещинский. – К.: ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, 1995. – 197 с.
13. Наплавка роликов МЛНЗ / В. А. Коротков, И. Д. Михайлов, А. С. Веселов [и др.] // Сталь. – 2003. – № 8. – С. 60–63.
14. Якушин Б. Ф. Особенности технологии дуговой наплавки роликов для установок непрерывной разливки сталей / Б. Ф. Якушин, П. А. Цирко // Сварка и диагностика. – 2009. – № 5. – С. 35–40.
15. Разиков М. И. Сварка и наплавка кавитационной стали марки 30Х10Г10 / М. И. Разиков, В. П. Ильин. – М.: НИИМАШ, 1964. – 35 с.
16. Выбор состава хромомарганцевой стали с метастабильным аустенитом в качестве основы наплавочного материала / Л. С. Малинов, А. П. Чейлях, Е. Я. Харланова [и др.] // Известия ВУЗ. Черная металлургия. – 1994. – № 8. – С. 45–46.
17. Малинов Л. С. Марганецсодержащие наплавочные материалы / Л. С. Малинов, В. Л. Малинов // Сварочное производство. – 2001– № 8. – С. 34–36.
18. Восстановление колец опорно-поворотного устройства крана МКТ-250 / Ю. М. Кусков, Я. П. Черняк, И. Г. Острик [и др.] // Сварщик. – 2004. – № 4. – С. 35–38.
19. Корозійні характеристики наплавлених шарів для штоків гідроциліндрів гірnodобувного обладнання / А. А. Голякевич, Л. М. Орлов, Г. В. Похмурська [та ін.]. // Хімічна механіка матеріалів. Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів. – 2014. – № 10. – С. 651–656.
20. Influence of the Phase Composition of the Layers Deposited on the Rods of Hydraulic Cylinders on Their Local Corrosion / A. A. Holyakevych, L. M. Orlov, H. V. Pokhmurs'ka [et al.] // Materials Science. – 2015. – Vol. 50. – Issue 5. – P. 740–747.

Поступила в редакцию 28.07.2016