

УДК 621.9.048

Доронин О. Н.
Кудряшов А. Е.
Крафт В. Б.

**О ПРИМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ДЛЯ
ОБРАБОТКИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ИЗ ИЗНОСОСТОЙКОГО (БЕЛОГО) ЧУГУНА
ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ЭЛЕКТРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ
МАРКИ «СТИМ» (СИСТЕМА Ti–C–Ni–Al)**

Валки чистовых клетей современных сортопрокатных станов в основном изготавливаются из износостойкого (белого) чугуна, который обеспечивает ряд очень важных в условиях горячей прокатки сталей свойств. Таких как высокая твердость (свыше 40 ед. по Шору), жесткость на прогиб, высокая износостойкость и др. Повышение ресурса работы валков является актуальной инженерно-технической задачей, решением которой может быть либо разработка новых материалов, либо нанесение на рабочие поверхности валков многофункциональных защитных покрытий различными методами поверхностной инженерии. Применение технологии электроискрового легирования (ЭИЛ) позволяет получать многофункциональные покрытия, характеризующиеся высокой адгезией, твердостью, износо- и коррозионной стойкостью. Технология ЭИЛ не требует применения высококвалифицированного персонала, процесс экологичен, имеет низкую энергоемкость, что является особенно позитивным в сложных экономических условиях. При применении высокоэнергетических режимов обработки возможно восстановление размеров изношенного инструмента [1–6].

Целью данной работы являлось изучение влияния процесса электроискровой обработки при применении электродных материалов марки «СТИМ» (система Ti–C–Ni–Al) на свойства подложек из чугуна.

В настоящее время опубликовано множество работ по проблеме поверхностного упрочнения с использованием источников высокоскоростного нагрева, однако, проблемы связанные с изучением структурных преобразований, происходящих в железоуглеродистых сплавах при их быстром нагреве, освещены в литературе не достаточно [3].

Процесс ЭИЛ начинается со сближения анода (электрода) с катодом (деталью). При расстоянии между ними, равном пробивному, начинается развитие искрового разряда длительностью $10^{-6} - 10^{-3}$ с. После пробоя межэлектродного промежутка (МЭП) за счет энергии, поступающей от генератора импульсов, на поверхностях электродов развиваются локальные очаги плавления, испарения, вызывающие электрическую эрозию материалов электродов (анода и катода). Искровой разряд оказывает на материал электродов импульсное тепловое и механическое воздействия. Поток электронов приводит к локальному разогреву электрода (анода), а поперечное магнитное поле создаёт высокое давление в плазменном шнуре разряда, в котором реализуется средняя электронная температура $T_e \sim 5000-7000$ К. В результате этого воздействия на поверхности обоих электродов появляются объёмные источники тепла приводящие к возникновению эрозионных лунок на аноде и катоде. В самой лунке можно выделить три зоны: испарения, плавления и напряжённого состояния. Зона напряжённого состояния возникает за счёт волны термических и термомеханических напряжений в результате импульсного нагрева, реактивного воздействия плазменной струи и её расширения в момент спада тока в импульсе. Кроме того, так как процесс легирования носит локальный характер, имеет место и сверхскоростная закалка [1].

При разогреве поверхности за счет искрового разряда микрообъемы материала нагреваются со скоростью более 104 К/с, до температур, превышающих температуру кипения сплава, зона испарения с температурой более 3000 °С распространяется на глубину до

10 мкм, диаметр, сформировавшейся лунки $\leq 0,1$ мм, температура на глубине 100 мкм после окончания действия импульса составляет около 600 °С. Гидродинамика образования лунки определяется не только перегревом расплава, но и пульсацией давления отдачи электрического разряда. Кристаллизация расплава происходит со скоростью более 10^5 К/с при существенном уменьшении микрообъема с образованием высоких остаточных напряжений сжатия. При лазерном облучении, с высокими скоростями нагрева и охлаждения $\geq 10^5$ К/с, белого синтетического чугуна, цементит не успевает графитизироваться при температурах близких к точке плавления цементита (около 1260 °С) образуется микроструктура распада карбида двух разновидностей стратифицированный «байковит I», и «рифоподобный байковит II» [4].

Плазменная обработка чугуна приводит к появлению многослойной структуры, формирующейся при высокоскоростной кристаллизации расплава и зоны термического влияния. При формировании в поверхностном слое чугуна структуры наноразмерных зерен могут возникнуть дальнедействующие поля напряжений, которые при определенных значениях способны привести к формированию микротрещин в поверхностном слое вала. Высокие скорости нагрева и охлаждения приводят к формированию в зоне расплава структуры, характеризующейся высокой степенью неоднородности [5].

Так же зоны перегрева при высокоскоростном нагреве характеризуется повышенным уровнем внутренних напряжений, что может привести к образованию микротрещин по границам зерен, что может объяснить зафиксированные случаи пониженной контактно-усталостной выносливости и абразивной износостойкости поверхностно упрочненных сталей [6].

При ЭИЛ обработке многократное воздействие искровых разрядов, и соответственно, циклов нагрев – охлаждение приводит, при увеличении длительности обработки, к постоянной перекристаллизации материала микроструктуры, а также к созданию повышенных растягивающих внутренних напряжений в поверхностном слое, которые могут вызвать хрупкое разрушение нанесенного покрытия с образованием трещин, сколов и выкрашивания материала катода (подложки). Эти же температурные колебания являются основными причинами невозможности нанесения значительных толщин покрытия и накопления внутренних напряжений, уменьшения термостойкости покрытий [2].

Традиционно в качестве электродных материалов (ЭМ) используют металлы и их сплавы, графит, а так же твердые сплавы, в основном на основе карбидов вольфрама, получаемые по технологии порошковой металлургии [2].

Однако такие твердые сплавы не всегда удовлетворяют требованиям, предъявляемым к электродным материалам, в связи с их высокой эрозионной стойкостью, низким коэффициентом переноса, низкой жаростойкостью WC, высокой стоимостью.

Принципиально новый подход в технологическом процессе получения электродов для ЭИЛ открывается с применением технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

Для нанесения электроискровых покрытий в системе Ti–C–Ni–Al использовали СВС-электродный материал марки СТИМ-40НА («СТИМ» – синтетический твердый инструментальный материал).

Нанесение электроискровых покрытий проводили на лабораторной установке. Формирование поверхностного слоя осуществлялось на воздухе, поочередным, локальным воздействием импульсного разряда на все участки обрабатываемой поверхности, из расчета времени обработки 10 минут на 1 см^2 , путем многократного прохождения анода над одним и тем же участком катода, при отсутствии синхронизации импульсов тока с частотой касания электрода с образцом (схема независимого генератора).

Лабораторная установка для электроискрового нанесения имеет следующие характеристики: высокочастотный источник питания с напряжением питания 220 В, диапазон

регулировки силы тока – 10–100 А (при проведении обработки 18–25 А), частота тока – 30 кГц (Длительность импульса 60 мкс), энергия импульса – 0,79 Дж, амплитудное значение тока импульса – 60 А.

В качестве материала подложки (катода) применяли образец из доэвтектического износостойкого чугуна (состав: Fe – основа, 3,1 % С, 1,89 % Si, 0,56 % Mn, 0,4 % Cr, 0,9 % Ni). Размеры образца 10 × 10 × 25 мм с кривизной поверхности R = 380 мм (рис. 1). Исходная кривизна поверхности позволяет наблюдать в плоском шлифе несколько глубинных уровней покрытия. Данный чугун используется для производства прокатных валков стана 350 ОАО «ОЭМК» (ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат»).

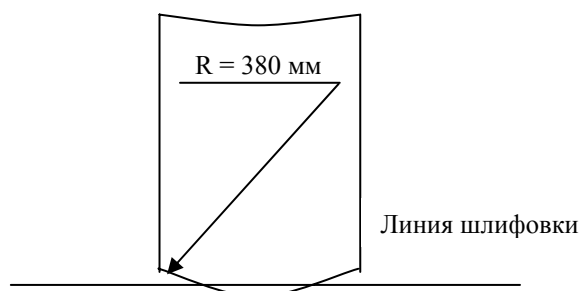


Рис. 1. Кривизна поверхности образца

При подготовке металлографического исследования (шлифовка и полировка) заметно некоторое (незначительное) замедление истирания поверхности подвергнутой обработке, по сравнению с необработанной поверхностью. Шлифовка обработанной поверхности заметно затруднена из-за наличия обнаруживаемых вооруженным глазом дефектов поверхности в виде лунок, скорее всего обусловленных высоким значением энергии импульса, вызывающим локальное выжигание основного слоя. При травлении образцов в 5 % растворе HNO_3 в этиловом спирте (являющимся универсальным травителем для сплавов на основе железа) участки образца, подвергнутые обработке не изменили цвет, в то время, как металл основы приобрел желтоватый оттенок, что подтверждает наличие на поверхности участков с различными химическими свойствами [7]. В остальном, заметных отличий в стойкости и внешнем виде обработанной и необработанной поверхностей на макроуровне не обнаружено.

Металлографические исследования проводились на металлографическом световом микроскопе «Versamet-2 (Union)» и «Epiquant», с увеличением $\times 400$ и $\times 800$, соответственно.

В ходе металлографического исследования установлены участки с различной структурой. Данный факт подтверждает наличие поверхностного слоя, отличного по свойствам от материала основы. Образец без покрытия имеет структуру характерную для доэвтектического чугуна (рис. 2) с четко различимой структурой, не имеющей заметных дефектов и отклонений.

Переходная зона, которая имеет участки с четко различимой структурой основы и участки, на которых нельзя различить структуру поверхности (рис. 3). Невозможность различить структуру можно объяснить двумя причинами:

1) эти участки не подвергаются травлению, т. к. состоят из материала, отличного от основы (TiC–NiAl, а не железа);

2) поверхность имеет ультрадисперсную структуру, характерную для материала электрода и переходной зоны (белый слой с высокой твердостью и не выявляющийся методами металлографического анализа, формирующийся в результате импульсной кристаллизации микрообъемов расплава и последующих вторичных процессов закалки и отпуска [4]).

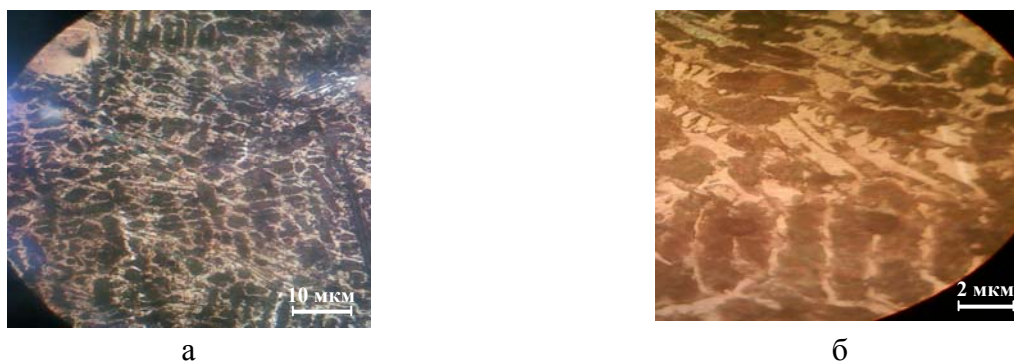


Рис. 2. Структура необработанной поверхности катода (подложки):

а – микроскоп «Versamet-2 (Union)», увеличение $\times 400$; б – микроскоп «Eriquant», увеличение $\times 800$

На переходных участках, имеющих структуру, характерную для исходного образца, микротрещин и следов фазовых превращений не обнаружено. Появление крупных дефектов правильной формы обусловлено выжиганием материала, т. к. в его окрестности так же не наблюдается микротрещин и фазовых изменений. Так же, скорее всего, не имел место и перегрев, признаком которого может быть повышенная травимость границ зерен [4].

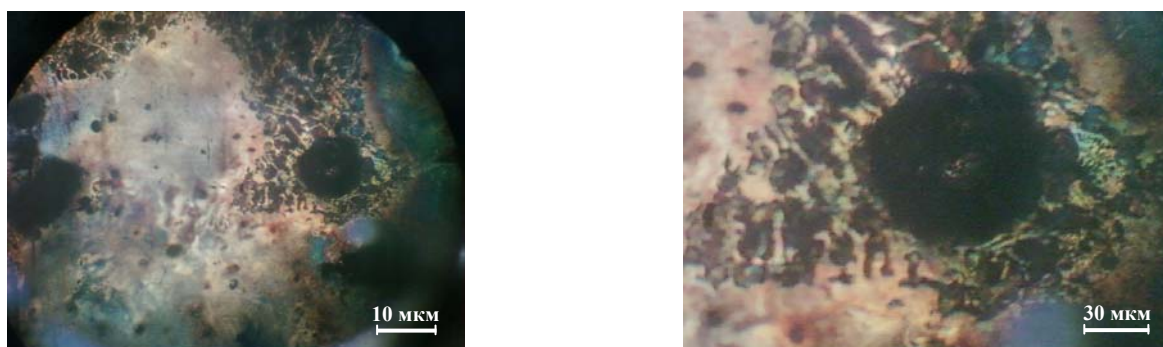


Рис. 3. Переходная зона: микроскоп «Versamet-2 (Union)» – увеличение $\times 400$

На рис. 4 показан участок поверхности, характерный для материала покрытия, на котором заметны крупные фрагменты, не подвергнутые травлению. Однако так же заметны крупные дефекты нанесенного слоя, которые показывают нарушения сплошности покрытия, обусловленные нарушением технологии нанесения.

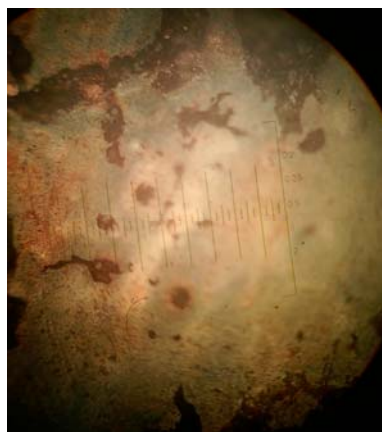


Рис. 4. Поверхность покрытия: микроскоп «Eriquant», увеличение $\times 800$

Испытания на твердость на твердомере ЗИП ТШ-2М обработанного и необработанного образцов показали, что каких-либо изменений твердости не наблюдается. По-видимому, данный факт объясняется не высокой толщиной электроискрового покрытия. Более точные результаты по твердости различных зон, можно получить при измерении микротвердости. Можно предположить, что основными фазами в нанесенном поверхностном слое являются карбид титана и никелид алюминия, в связи с чем, поверхностный слой более стоек к высокотемпературному окислению на воздухе, а также более износостоек, по сравнению с чугуном.

ВЫВОДЫ

1. В результате электроискровой обработки сформировано на поверхности образца из доэвтектического износостойкого чугуна электроискровое покрытие, отличное по структуре и химическим свойствам от материала основы.
2. Сформированное покрытие характеризуется отсутствием микротрещин.
3. Является перспективным продолжение работ по изучению особенностей массопереноса электродных материалов марки «СТИМ» на износостойкий чугун при варьировании энергетических режимов электроискровой обработки (ток, длительность и частота импульсных разрядов), а также проведение комплекса исследований структуры, состава и свойств покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Электродные материалы для электроискрового легирования* / [Верхотуров А. Д., Подчерняева И. А., Прядко Л. Ф., Егоров Ф. Ф.]. – М. : Наука, 1988. – 224 с.
2. *Электроискровое легирование металлических поверхностей* / [А. Е. Гитлевич, В. В. Михайлов, Н. Я. Парканский и др.]. – Кишинев : Штиинца, 1985. – 195 с.
3. *Особенности структурных превращений, обусловленные высокоскоростным нагревом углеродистых сталей* / [А. А. Батаев, В. В. Иванцовский, И. А. Батаев, В. Г. Буров, А. М. Кручинин] // *Известия вузов. Черная металлургия*. – 2006. – № 10. – С. 31–33.
4. *Плошкин В. В. Структурные превращения при электроэрозионной обработке сталей* / В. В. Плошкин // *Известия вузов. Черная металлургия*. – 2005. – № 11. – С. 43–48.
5. *Формирование наноразмерной субструктуры и фазового состава при плазменном упрочнении чугуновых валков* / [О. Ю. Ефимов, Ю. Ф. Иванов, В. Е. Громов, С. В. Коновалов] // *Известия вузов. Черная металлургия*. – 2008. – № 8. – С. 16–21.
6. *Батаев Е. А. Особенности разрушения поверхностного слоя стали, перегретого электронным лучом* / Е. А. Батаев, В. Г. Буров, В. А. Батаев // *Известия вузов. Черная металлургия*. – 2006. – № 12. – С. 60.
7. *Коваленко В. С. Металлографические реактивы : справочник* / В. С. Коваленко. – М. : Металлургия, 1981. – 120 с.

Доронин О. Н. – аспирант СТИ МИСиС;

Кудряшов А. Е. – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник СТИ МИСиС;

Крафт В. Б. – канд. техн. наук, проф. СТИ МИСиС.

СТИ МИСиС – Старооскольский технологический институт (филиал) Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Государственный технологический университет «Московский институт стали и сплавов», г. Старый Оскол, Россия.

E-mail: o-doronin@mail.ru