

Для выбора режима термической обработки наплавленной детали как биметаллического изделия предложено использовать графическую оптимизацию термокинетических диаграмм распада аустенита.

Разработка специальных сплавов для восстановления и упрочнения, совершенствование технологии путем термической обработки наплавленных деталей, имеет большую перспективу благодаря использованию наплавочных сплавов с низким содержанием легирующих элементов, возможностью управления структурой как наплавленного, так и основного металла.

Литература

1. Восстановление деталей машин: Справочник / Ф. И. Пантелеенко [и др.]; под общ. ред. В.П. Иванова. - М.: Машиностроение, 2003. - 672 с.
2. Химико-термическая обработки металлов и сплавов. Справочник/ Г.В. Борисенко, Л.А. Васильев, Л.Г. Ворошин [и др.]. - М.: Металлургия, 1981. - 424 с.
3. Ворошин, Л.Г. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО/ Ф.И. Пантелеенко, В.М.Константинов.-2-е изд. - Минск: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 2001. - 148 с.
4. Семенченко М.В., Красиков В.Л., Дашкевич В.Г. Электрохимико-термическая обработка проволоки для напыления и наплавки/ М.В. Семенченко, В.Л. Красиков, В.Г. Дашкевич // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Прикладные науки. Материаловедение. - 2004. - С.12-17.
5. Константинов В.М., Войтехович О.А. Анализ и создание компьютерной системы проектирования защитных покрытий из специальных сплавов/ В.М. Константинов, О.А. Войтехович// Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Прикладные науки. Материаловедение. - 2005. - №6. - С.53-58.

УДК 621.983

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ И ВОЗДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Девоино О.Г., Кардаполова М.А., Яцкевич О.К., Дубовик А.М., Федорук Г.Ф.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

В связи с тем, что единичные способы упрочнения поверхностей не всегда могут обеспечить заданный комплекс технологических свойств, все чаще применяются комбинированные методы упрочнения. Ступенчатые методы обработки позволяют варьировать комплекс физико-механических и эксплуатационных характеристик деталей машин и инструмента, работающих в особо тяжелых условиях, и получать стойкие износостойкие поверхности.

Электроискровая обработка обеспечивает создание износостойких покрытий с высоким уровнем физико-механических свойств на рабочих поверхностях деталей. Однако существует ряд проблем, касающихся возможности управления свойствами, составом и структурой получаемых слоев в широких пределах.

Перспективным для поверхностей, работающих в условиях динамического нагружения, может быть комбинация электроискрового легирования и лазерной обработки.

Сочетание указанных методов позволит объединить их достоинства, избежав недостатков каждого из них. Лазерная обработка электроискровых покрытий позволит направленно модифицировать их свойства. В то же время известно, что предварительная подготовка поверхности в значительной степени влияет на результат электроискровой обработки. Однако для успешного внедрения комбинированных технологий необходимо изучение закономерностей формирования свойств на всех стадиях технологического процесса.

Особый интерес при создании упрочняющего слоя на поверхностях представляет лазерная обработка с последующим электроискровым легированием поверхности твердым сплавом, что обеспечивает получение целого комплекса свойств в приповерхностном слое. Лазерная обработка в данном случае приведет к насыщению структуры металла двойниками и дислокациями, уменьшению балла зерна, измельчению карбидов. Кроме того, в результате воздействия лазерного излучения на поверхности образуются параллельно расположенные упрочненные дорожки, которые ложатся с определенным коэффициентом перекрытия.

Последующая обработка поверхности методом электроискрового легирования твердосплавным электродом с расположением упрочняющих дорожек перпендикулярно направлению следов лазерной обработки способствует получению слоистых высокоизносостойких слоев с перекрытием неупрочненных зон. Сплошность покрытия при этом составляет 90-100 % и регулируется.

Сочетание же электроискрового легирования и электромагнитной обработки значительно снижает шероховатость поверхности. Воздействие магнитного поля может изменять важные физико-механические свойства поверхностей. Повышение качества и эффективности обработки достигается путем комбинирования импульсов электрического и магнитного поля в различных сочетаниях [1].

Целью работы является изучение влияния предварительной лазерной обработки и последующего электроискрового легирования в магнитном поле на комплекс физико-механических свойств.

Методика исследований

Для исследований использовались образцы стали X12M в закаленном состоянии [2]. После низкого отпуска при температуре 160°C была получена мартенситная структура. Твердость поверхностного слоя 62...63 HRC, сердцевины 40...45 HRC. Для изучения механизма превращений, происходящих при лазерной обработке, поверхность подвергали излучению непрерывного лазера Комета-2 с последовательным увеличением энерговыклада. Изучали распределение микротвердости по сечению образца, микроструктуру и фазовый состав.

Электроискровое легирование осуществляли на установке ЭФИ – 46А. Установка работает на шести режимах, оснащена генератором импульсов и электродержателем, внутри которого находится электромагнитный вибратор. К якорю вибратора с помощью универсального зажима крепится анод из упрочняющего материала. Для исследований был выбран твердый сплав ВК – 8.

Режимы обработки выбирались исходя из рекомендаций [3], где отмечено, что упрочнение инструментальных сталей наблюдается в интервале плотностей энергии $0,5 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^3$ Дж/см².

Обсуждение результатов.

В результате упрочнения образцов лазерным лучом были получены слои толщиной 120...500 мкм. Выявлены два типа структур, значительно отличающихся друг от друга. Структура поверхности упрочненной при плотности мощности $0,15 \cdot 10^9$ Вт/м², имеет слоистое строение. Слой, расположенный непосредственно у поверхности, представляет собой мартенсит, мелкодисперсные карбиды и значительное количество остаточного аустенита, что подтверждается твердостью слоя. Второй слой состоит из мелкодисперсных карбидов и мартенсита, имеет максимальную твердость, причем с увеличением плотности мощности глубина верхнего слоя возрастает. Далее идет слой со структурой отпуска и более низкой твердостью (до 5,7 ГПа) (рисунок 1, кривая 3).

Интервал режимов плотности мощности $q = 0,1 - 0,2 \cdot 10^9 \text{ Вт/м}^2$, $V = 13 \text{ мм/с}$ представляет интерес тем, что он является граничным, при котором на поверхности начинается оплавление. При плотности мощности выше $0,2 \cdot 10^9 \text{ Вт/м}^2$ происходит оплавление поверхности.

Второй тип структуру наблюдается при режимах лазерной обработки $q = 0,05 \cdot 10^9 \text{ Вт/м}^2$, $V = 13 \text{ мм/с}$ (рисунок 1, кривая 1). Слой, расположенный непосредственно у поверхности, представляет собой мартенсит, мелкодисперсные карбиды и незначительное количество остаточного аустенита. Второй слой – зона с троститной структурой с понижением микротвердости до 6,0 ГПа.

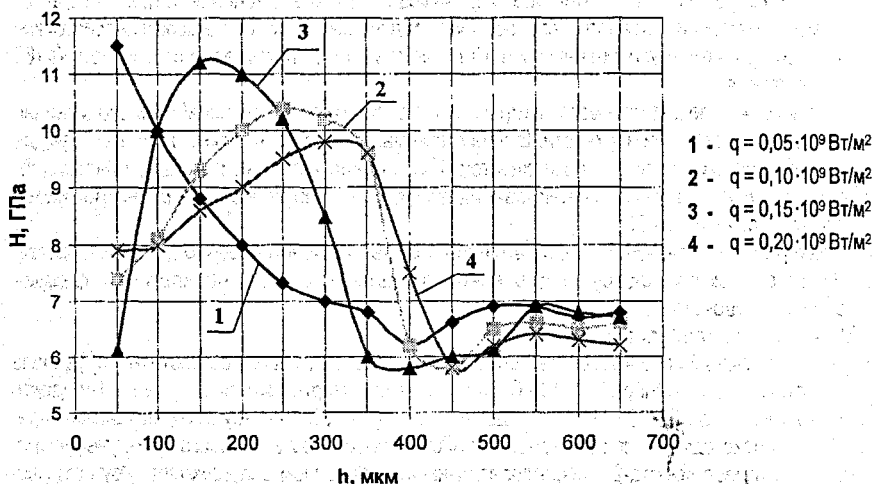


Рисунок 1. Распределение микротвердости по глубине упрочненного слоя после лазерной обработки

Таким образом, при увеличении глубины зоны термического воздействия лазера в стали X12M непосредственно на поверхности образуется слой с наличием аустенита, что отрицательно сказывается на механических свойствах металла.

Для получения поверхностей с высокими триботехническими свойствами образцы, обработанные лазером, подвергали электроискровому легированию на различных режимах.

Суммарная глубина упрочненного слоя в зависимости от режимов находится в пределах 300-500 мкм. Причем с увеличением энергии импульса с $R = 4,5 \text{ А/Дж}$ до $R = 86 \text{ А/Дж}$ глубина верхнего наносимого слоя возрастает.

Слой состоит из четырех зон. Первая зона – «белый слой», полученный после электроискрового легирования на основе твердого сплава ВК-8. Вторая зона – зона отпуска, незначительная по величине. Третья – зона термического воздействия лазерной обработки, оканчивающаяся четвертой зоной – зоной отпуска. Зоны вторая и четвертая предположительно могут способствовать улучшению демпфирующих свойств материала.

На рисунке 2 представлена зависимость изменения микротвердости для образцов, упрочненных лазером с электроискровым легированием.

Изменение микротвердости по глубине образцов подтверждает образование слоистой износостойкой зоны у поверхности глубиной 250...450 мкм с максимальной микротвердостью у поверхности до 16 ГПа и высокой микротвердостью по глубине слоя до 11...12 ГПа.

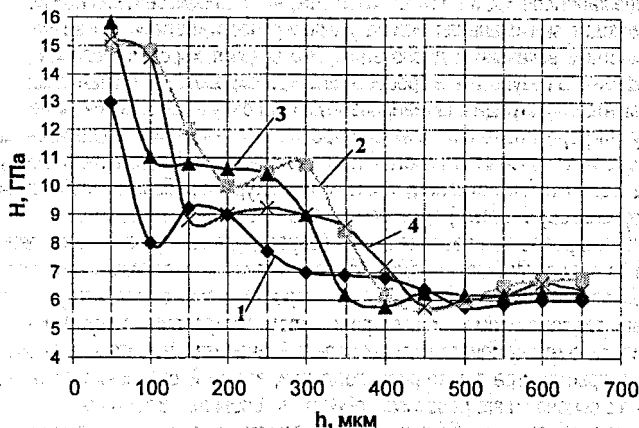


Рисунок 2. Распределение микротвердости по глубине упрочненного слоя после лазерной обработки и электроискрового легирования

В результате фазового анализа упрочненных образцов установлено, что в приповерхностном слое присутствуют фазы, характерные для электроискрового легирования твердыми сплавами группы ВК - С, W₂C. Значительное количество в поверхностном слое составляют карбиды хрома Cr₇C₃, Cr₂₃C₆.

Фазовый и рентгеноструктурный анализ и исследования структуры позволили следующим образом представить особенности изменения структуры твердосплавного покрытия. Основную роль в формировании упрочняющих фаз (карбидов хрома) в покрытии играет состояние подложки (структура и степень активации упрочненного лазерной обработкой поверхностного слоя). Высокие температуры от контакта с расплавленной частицей покрытия приводят к разогреву поверхности инструментальной стали, при этом находящийся в виде карбидов хром растворяется и диффундирует в сторону жидкой ванны твердого сплава. Этому способствует энергетическое состояние упрочненной инструментальной стали, искаженная решетка которой старается освободиться от избыточных карбидов хрома. Наличие в упрочненной структуре термостабильных дефектов способствует ускоренной диффузии хрома и углерода к поверхности раздела стали и наплавляемого твердого слоя. Направленность движения лазерной обработки формирует в упрочненном слое структуру в направлении деформации. Поэтому диффузионные слои формируются в наплавляемом слое также в этом направлении.

При фазовом анализе обнаружена важная особенность структуры - аксиальная кристаллографическая текстура, то есть преимущественная ориентировка определенного кристаллографического направления большинства кристаллитов покрытия. У фазы Cr₇C₃ к поверхности образца ориентирована плоскость (331), а у карбида Cr₂₃C₆ - плоскость (531) как обычно у кубических структур, нормально поверхности ориентировано направление с теми же индексами (531). Обнаруженное явление аналогично текстуре, обнаруживаемой в диффузионных хромокарбидных слоях после диффузионного хромирования высокоуглеродистых сталей.

Сопоставление полученных данных позволяет сделать вывод о том, что последовательное упрочнение лазером и электроискровое легирование приводит к образованию непосредственно у поверхности высоколегированного слоя, состоящего в основном из карбидов вольфрама WC, W₂C и карбидов хрома Cr₇C₃, Cr₂₃C₆.

Увеличение количества карбидов хрома объясняется тем, что в процессе лазерной обработки поверхности происходит значительная активация поверхности, образуется энергонасыщенный слой с множеством вакансий и дислокаций. Это создает хорошие условия для прямой и обратной диффузии. В результате в процессе электроискрового легирования кроме обычной диффузии элементов электрода в активированную подложку наблюдается активная диффузия хрома в зону микрорасплава при электроискровом легировании с образованием карбидов хрома, имеющих текстурованную кристаллическую решетку. Известно, что между степенью совершенства аксиальной кристаллографической текстуры и рабочими свойствами поверхностей (например, износостойкостью) существует положительная корреляция.

Установлено, что электроискровое легирование может сопровождаться снижением степени упрочнения поверхности за счет термических эффектов, вызывающих релаксационные процессы и рост зерен в приповерхностных слоях. Высокие скорости термического нагружения, связанные с интенсивным теплоотводом при электроискровом легировании могут вызвать образование микротрещин за счет термоусталостных явлений. Значительную роль в формировании износостойкого покрытия играет материал подложки, который обеспечивает прочность сцепления покрытия с основой и его работоспособность в условиях нагружения.

Использование лазерной обработки образцов перед электроискровым легированием обеспечивает снижение внутренних напряжений за счет наложения вторичного температурного поля. Образуется мелкодисперсная структура материала подложки, что исключает значительный рост зерна и, следовательно, появление микротрещин.

Одним из существенных недостатков процесса электроискрового легирования является сравнительно высокая шероховатость упрочненной поверхности при средних режимах обработки. Одним из путей снижения шероховатости может быть дополнительно воздействие магнитного поля [4].

Была поставлена задача – сместить и перераспределить по поверхности канал расплава, тем самым уменьшить шероховатость и улучшить качество наносимого слоя.

Электроны движутся под действием ускоряющего потенциала к аноду. При внешнем магнитном поле, равном нулю, траектория электрона прямолинейна. При наложении магнитного поля на межэлектродное пространство траектория электронов искривляется. При больших значениях магнитной индукции внешнего магнитного поля процесс ЭИЛ может ухудшаться. При сближении электродов, на стадии пробоя межэлектродного расстояния, электроны будут отклоняться от прямолинейной траектории под действием сил магнитного поля и не будут попадать на анод. В этом случае разряд между электродами произойдет только в момент их касания, что ухудшает качество наносимого слоя. Поэтому был произведен расчет величины максимально допустимого значения магнитной индукции внешнего магнитного поля, при которой можно воздействовать на канал разряда и на электрод с целью улучшения качества поверхности.

Величина магнитной индукции внешнего магнитного поля, при которой электроны не достигают анода, равна 0,18 Тл. Следовательно, разряд будет происходить только при касании электродов. Из этого следует, что за счет наложения внешнего магнитного поля в пределах 0,18 Тл можно воздействовать на канал разряда с целью перераспределения по поверхности; тем самым изменяя шероховатость.

Для подтверждения теоретических выводов и изучения характера воздействия внешнего магнитного поля было разработано устройство на базе серийной установки для электроискрового легирования ЭФИ-46А, позволяющее воздействовать вращающимся магнитным полем на процесс электроискрового легирования.

Выводы

Предварительная лазерная обработка в диапазоне плотностей мощности излучения $q = 0,1 - 0,2 \cdot 10^9$ Вт/м² при скорости перемещения луча $V = 13$ мм/с способствует ак-

тивации рабочих поверхностей и формирует структуру, обеспечивающую при последующем электроискровом легировании перераспределение элементов с возрастанием количества карбидов хрома (до 60%) в приповерхностном слое и степени легированности твердого раствора хромом и вольфрамом, образованием достаточно совершенной кристаллографической текстуры с повышением плотности дислокаций.

Предварительное упрочнение рабочей поверхности лазерной обработкой способствует усилению диффузионных процессов и насыщению карбидами хрома твердосплавного покрытия.

В результате последующего электроискрового легирования у поверхности образуется слоистая износостойкая зона глубиной 250...450 мкм с максимальной микротвердостью у поверхности до 16 ГПа и высокой микротвердостью по глубине слоя до 11...12 ГПа

Сочетание же электроискрового легирования и электромагнитной обработки значительно снижает шероховатость поверхности. Комбинирование перечисленных способов обеспечивает повышение качества и эффективности обработки.

Литература

1. Ящерицын П.И., Забавский М.Т., Кожуро Л.М., Акулович Л.М. Алмазно-абразивная обработка и упрочнение изделий в магнитном поле, - Мн.: Наука и техника, 1988. - 272с.
2. Марочник сталей и сплавов/В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др.; Под общ. ред. В.Г. Сорокина, - М.: Машиностроение, 1989, - 640 с.
3. Коваленко В.С., Верхотуров А.Д., Головки Л.Ф., Подчерняева И.А. Лазерное и электроэрозсионное упрочнение материалов. - М.: Наука, 1986. - 276с.
4. Девойно О.Г., Яковлев Г.М. О поверхностном упрочнении стали 40X13 лазерным лучом. - В кн.: Машиностроение, 1983, вып.8, с.127-128.

УДК. 621.891:621.793

ИЗУЧЕНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛЕЕВЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ОСНОВЕ С ПОМОЩЬЮ СИМПЛЕКС МЕТОДА.

Дьяченко О.В., Кардаполова М.А.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Введение. Сплавы системы Fe-Cr-B-Si обладают высокой структурной чувствительностью к энергетическому воздействию и легирующим добавкам [1]. Лазерное модифицирование позволяет точно дозировать подвод энергии и легирующих веществ, а характер получаемой структуры определяет качество упрочненного слоя. Кроме того, сплавы обладают высокой износостойкостью вследствие композиционной структуры.

Широко известен способ получения износостойких покрытий сочетанием плазменного напыления с последующим лазерным оплавлением [1; 2]. Этот метод весьма успешно рекомендовал себя при изготовлении и восстановлении длинномерных, крупногабаритных деталей и деталей сложной конфигурации. Однако данная технология достаточно затратная. Нами была предпринята попытка замены плазменных покрытий на клеевые.

В технологии получения порошковых многокомпонентных материалов и изделий из них часто приходится решать задачи поиска оптимальных вариантов материалов, в частности путем выбора соответствующего соотношения исходных компонентов.

Для решения задачи выбора оптимального качественного, а впоследствии и количественного состава многокомпонентной обмазки, использовали метод математического моделирования на симплексных решетках Шеффе [3].