

УДК 669.017:621.73

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСКРЕТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ВОССТАНОВЛЕННЫХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ

Пономаренко И.В., к.т.н.

(Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет)

Рассмотрено влияние дискретного упрочнения на базе электроискрового легирования на микроструктуру, твердость и распределение элементов по сечению изделий, предварительно восстановленных железнением. Установлено, что такая комбинированная обработка приводит к образованию на границе покрытие–основа диффузионного слоя ~ 3 мкм и не снижает твердость покрытия.

Введение

Повышение эффективности использования средств транспорта может быть достигнуто за счет увеличения ресурса их деталей, узлов и агрегатов. Для этого в современном машиностроении большинство изделий подвергают различным видам поверхностного упрочнения (поверхностной закалке, химико-термической обработке, нанесению покрытий и т.д.). По статистическим данным объемная закалка с последующим отпуском используется только для ~ 25 % изделий, подлежащих термическому упрочнению, остальные изделия упрочняются различными методами поверхностной обработки, обеспечивающих получение высокой поверхностной твердости при сохранении достаточной вязкости и пластичности их сердцевины, а также снижение энергоемкости процесса обработки. Данный подход позволяет существенно увеличить ресурс деталей, работающих в условиях трения и изнашивания.

Кроме того, известно, что от 50 до 80 % эксплуатируемых деталей выходят из строя по причине износа [1, 2]. Большинство из них (~ 75 %) имеют значительный остаточный ресурс и могут быть использованы повторно после восстановления с затратами, не превышающими 30–40 % стоимости новых деталей [2, 3]. Таким образом, поиск эффективных методов восстановления поверхности изделий, позволяющих повысить их ресурс и снизить затраты на эксплуатацию средств транспорта, является актуальной задачей.

Анализ публикаций

Среди большого количества методов восстановления деталей машин [2], обращают на себя те из них, которые обеспечивают восстановление номинального размера, высокие механические свойства поверхности, не ухудшают конструктивную прочность изделий. Необходимым комплексом характеристик обладают гальванические железные покрытия, впервые

использованные для восстановления автомобильных деталей проф. Мелковым М.П. в 1955 г. и полученные из горячих растворов хлористого железа со стальными анодами при высокой плотности тока. Преимуществами данных покрытий являются: высокая твердость (до 7,5 ГПа); высокая износостойкость, в 2–3 раза превышающая износостойкость закаленной стали 45 с твердостью 45–50 HRC; значительная толщина получаемых покрытий (до 1,2 мм); не требуют использования дефицитных химических реактивов и анодов; относительно высокую скорость осаждения (0,3–0,6 мм/ч); достаточную адгезию к основе; низкий расход электроэнергии – 1,5 кВт · ч/дм²; высокая коррозионная стойкость изделий. Однако нанесение твердого железа гальваническим способом (осталивание) имеет ряд недостатков: возникновение высоких внутренних напряжений, которые растут с увеличением твердости покрытия и приводят к некоторому снижению (10–20 %) усталостной прочности изделий; экологичность процесса; необходимость регулирования большого количества параметров для получения покрытий с заданными свойствами. Эти недостатки могут быть устранены ограничением максимальной твердости получаемых покрытий за счет выбора оптимальных параметров обработки и автоматизацией опасных для здоровья человека операций.

Не менее эффективным, с точки зрения продления ресурса деталей машин, может быть применение дискретных методов упрочнения. Так, согласно [3], упрочненный слой имеет твердость 500–1000 МПа; обеспечивает повышение износостойкости чугуновых изделий в 1,3–1,5 раза, стальных – в 1,5–3,5 раза; снижает коэффициент трения до 0,012; увеличивает задиростойкость поверхности деталей и практически не снижает их усталостную прочность.

Последнее время для восстановления деталей машин активно используются различные интегрированные и комбинированные технологии, например [4], обеспечивающих повышенные эксплуатационные характеристики изделий.

В данной работе исследуются изделия после комбинированной обработки – осталивания (железнения) с последующим дискретным упрочнением.

Цель и постановка задачи

Цель работы – установить возможность применения дискретного упрочнения для предварительно восстановленных железнением деталей с точки зрения повышения их эксплуатационных свойств.

Для этого необходимо было исследовать микроструктуру, распределение элементов по сечению и твердость поверхностного слоя изделий после различных методов их восстановления.

Материал и методика исследований

Исследования выполнены на цилиндрических образцах диаметром 30 мм и длиной 100 мм, изготовленных из стали 40Г (состояние поставки). Железнение осуществляли по режимам, рекомендуемым в работе [5],

обеспечивающих получение толщины покрытий равной 200 и 400 мкм с микротвердостью 400–500 МПа. Известно, что для получения износостойких покрытий с повышенными механическими свойствами и улучшенной структурой железнение проводят в электролитах, содержащих марганец или никель. Поэтому в данной работе получали железное покрытие с некоторым содержанием никеля (до 4 %).

Железоникелевое покрытие подвергали дискретному упрочнению (на базе электроискрового легирования) – далее ЭИЛ. Режим дискретного упрочнения и материал электрода был выбран согласно рекомендациям [3].

Изучение микроструктуры осуществляли с помощью металлографического (МИМ-8М) и электронного (РЭМ-106, производство ОАО SELMI) микроскопа в поперечном сечении образцов в направлении от поверхности к сердцевине (к оси) для чего их предварительно разрезали механическим способом. Электронный микроскоп имел приставку для микрорентгеноспектрального анализа. Последний использовали для изучения распределения компонентов и их идентификации в поверхностных слоях после ЭИЛ исследуемых образцов.

Микротвердость определяли на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 200 гс.

Результаты исследований и их обсуждение

На рисунках 1, 2 показаны микроструктуры поперечного сечения образцов с толщиной покрытия ~ 200 мкм, которые были получены с помощью оптического и электронного микроскопов при разном увеличении.

Анализ этих рисунков позволяет сделать некоторые выводы:

- а) сердцевина образца имеет феррито-сорбитную структуру;
- б) железоникелевое восстановительное покрытие имеет толщину 190–220 мкм и выраженную слоистую структуру; слои располагаются концентрично оси образца; толщина слоев сильно варьируется от ~ 10 до 20 мкм, а их общее количество 12–18; в покрытии имеется значительно количество мелкодисперсных участков, плохо травящиеся примененным травителем (4 % спиртовой раствор азотной кислоты);
- в) видимые дефекты на границе покрытие-основа отсутствуют (рис. 1, б и в; рис. 2, б и в), что косвенно может свидетельствовать о достаточной величине адгезии покрытия к основе;
- г) указанное покрытие имеет большое количество микротрещин, ориентированных преимущественно перпендикулярно основе (оси образца).

Последующее ЭИЛ приводит к возникновению на поверхности покрытия дефектов – рытвин (каверн) в местах электроискрового разряда (рис. 2, б). По краям каверны имеются наплывы.

Для образца с покрытием, режим нанесения которого должен был обеспечить толщину последнего 400 мкм, получены аналогичные данные, но количественно несколько отличающиеся. Так, фактическая толщина покрытия

составляет 350–390 мкм, толщина его отдельных слоев варьируется от 6 до 10 мкм; в покрытии имеется значительно меньше дефектов (трещин и пор).

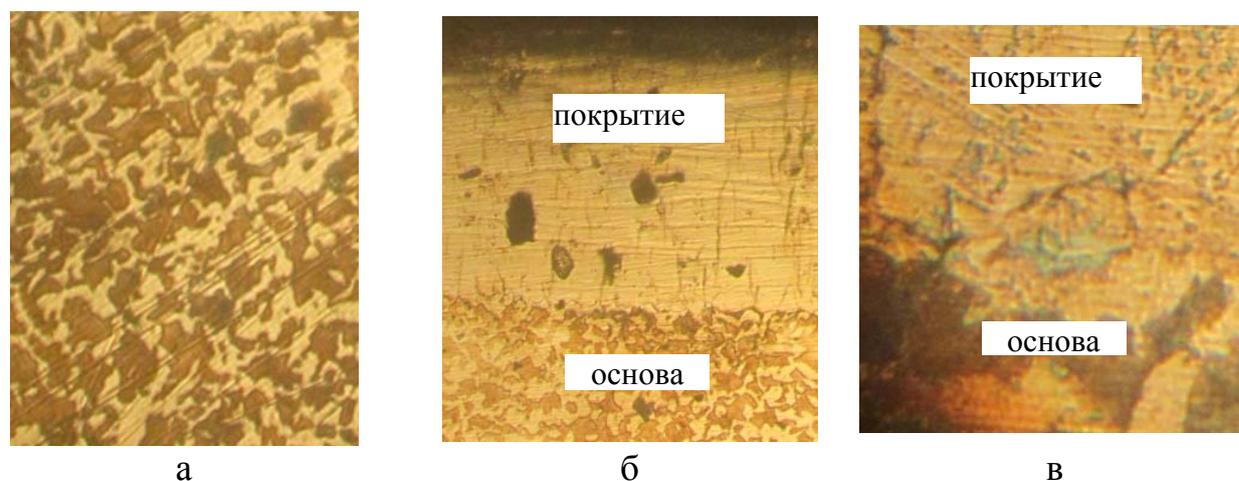


Рисунок 1 – Микроструктура сердцевини (а) и границы покрытие-основа (б, в) образца: а, б – увеличение $\times 250$; в – $\times 750$; толщина покрытия ~ 200 мкм

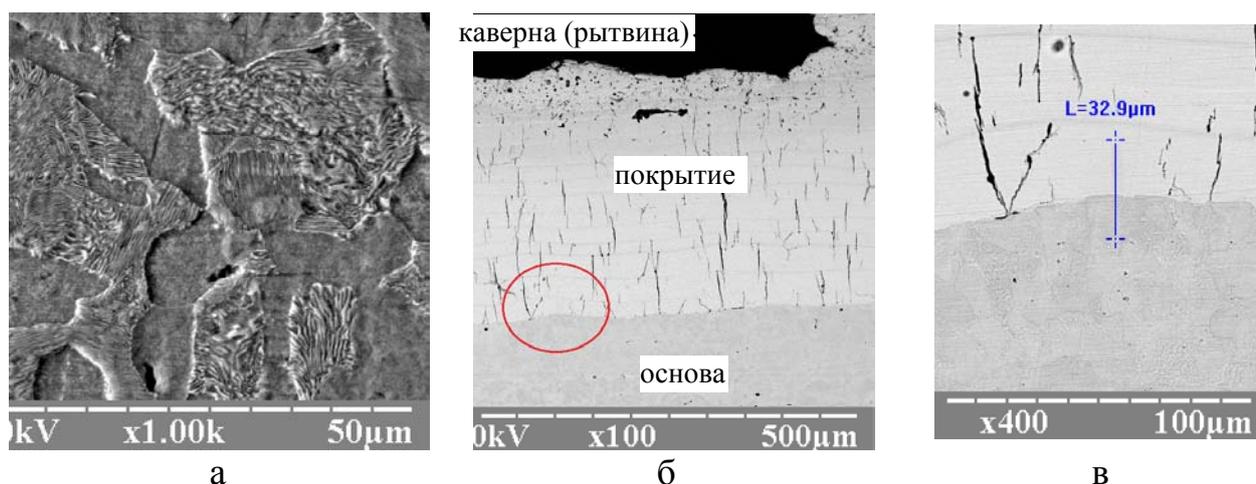
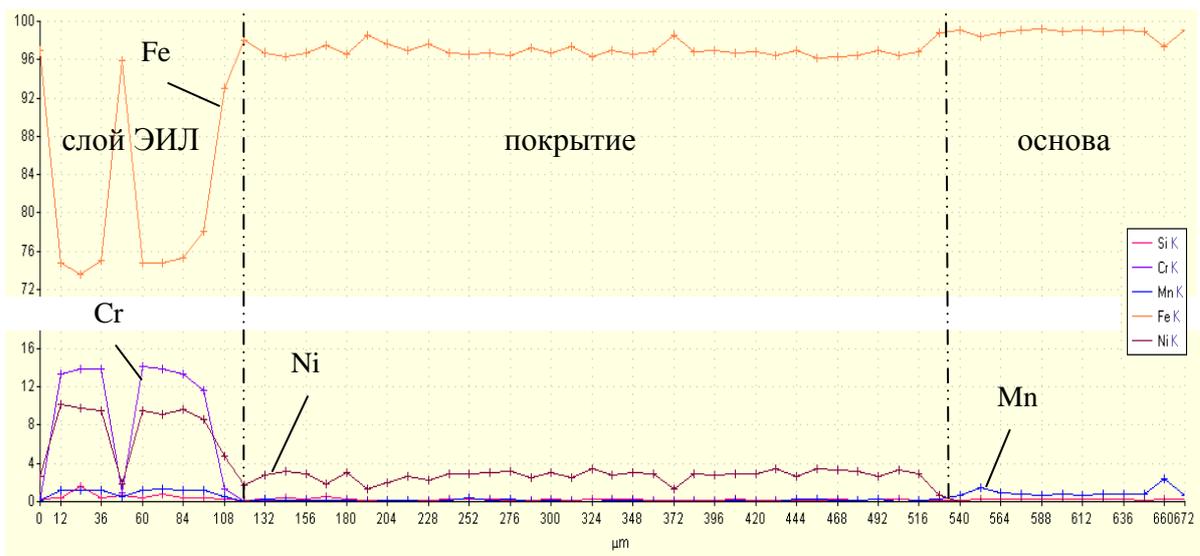


Рисунок 2 – Микроструктуры сердцевини (а) и границы покрытие-основа (б, в) образца после ЭИЛ; расположение линии, вдоль которой проводился элементный анализ материала (в)

Элементный анализ материала образца с толщиной покрытия ~ 200 мкм, проводился перпендикулярно оси образца: в первом случае участок исследования включал слой ЭИЛ, покрытие и основу (рис. 3, а), а во втором – приграничную область покрытие–основа (рис. 2, в; рис. 3, б).

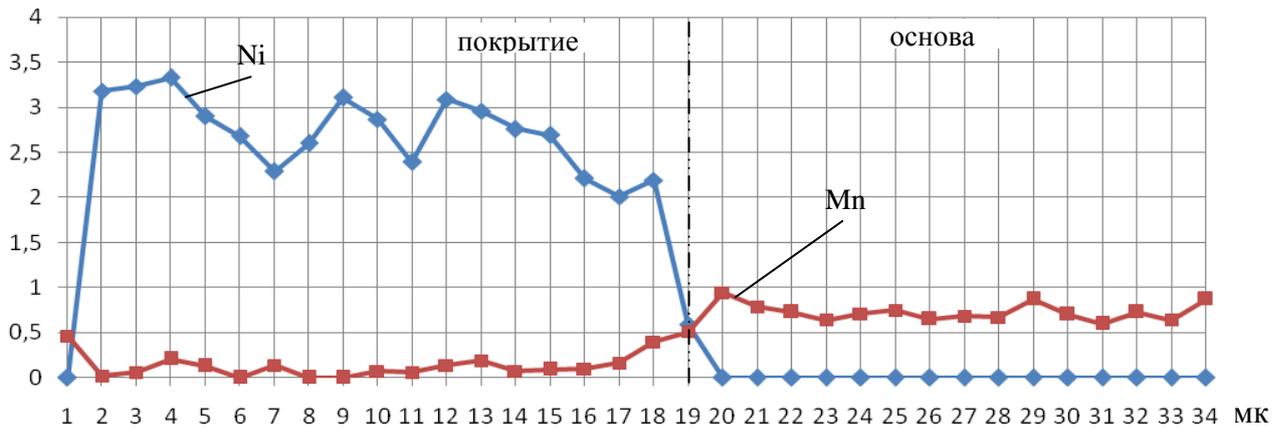
Из рис. 3,а видно, что легированный слой обогащен элементами электрода (общее количество легирующих элементов достигает 26 % мас.), а основа марганцем (сталь 40Г). Аналогичную картину можно наблюдать и при изучении образца с номинальной толщиной покрытия 400 мкм.

Содержание элемента, %



а

Содержание элемента, %



б

Рисунок 3 –Результаты элементного анализа материала: для участка слой ЭИЛ–основа с шагом 12 мкм (а); для участка покрытие–основа под зоной ЭИЛ с шагом 1 мкм (б)

Особенностью пробоя электроискрового разряда при ЭИЛ является прохождение через материал высоких токов. Поскольку в данной работе рассматривается ЭИЛ стальных поверхностей, предварительно восстановленных с помощью электролитических покрытий, то на границе покрытие–материал основы возможно резкое увеличение электрического сопротивления. Это, в свою очередь может привести к локальному нагреву границы раздела и диффузии элементов с покрытия в основу и наоборот. С целью проверки данного предположения было проведены детальные исследования приграничной области (рис. 3,б). Из рис. 3 видно, что содержание никеля по толщине покрытия очень неоднородно: отдельные его слои сильно обеднены никелем. Также следует отметить, что на границе покрытие-основа

при ЭИЛ формируется диффузионная зона: для никеля $\sim 1,5\text{--}2$ мкм, для марганца – около 3 мкм; ее размер минимален на участке, расположенном непосредственно под местом разряда.

Измерение микротвердости образцов с гальваническими покрытиями до и после ЭИЛ позволило сделать следующие выводы:

а) твердость покрытия во всех случаях существенно отличается от твердости основы (сердцевины) образцов: покрытия, полученные по режимам, обеспечивающих их меньшую толщину, имеют $H_{200} = 400$, большую толщину – $H_{200} = 500$, основа – $H_{200} = 160$;

в) ЭИЛ во всех случаях приводит к незначительному снижению твердости покрытия (на 15–30 единиц) в связи с нагревом;

Высокие значения микротвердости электролитического покрытия всех образцов являются тем фактором, который может обеспечить их значительную износостойкость при эксплуатации.

Выполненные исследования не дают возможности достаточно надежно прогнозировать поведение восстановленных изделий гальваническими покрытиями с последующим ЭИЛ в эксплуатации. Для этого необходимо проведение дополнительных исследований, в частности триботехнических.

Выводы

1. Видимые дефекты на границе покрытие-основа при изучении с помощью оптической микроскопии отсутствуют, что косвенно может свидетельствовать о достаточной величине адгезии покрытия к основанию.

2. Дискретное упрочнение (на базе ЭИЛ) вызывает появление на поверхности покрытия каверн (в местах электроискрового разряда).

3. После дискретного упрочнения на границе покрытие-основа непосредственно под разрядом наблюдается появление диффузионного слоя толщиной до 3 мкм; диффузия элементов проходит в двух направлениях: с покрытия в основу и наоборот.

4. Перечисленные факты могут свидетельствовать об увеличении адгезии гальванического покрытия к подложке под действием дискретного упрочнения, что является предпосылкой обеспечения длительной и надежной эксплуатации восстановленных деталей.

Список литературы

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность) / Д.Н. Гаркунов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: «Изд-во МСХА», 2001. – 616 с.
2. Карагодин В.И. Ремонт автомобилей и двигателей / В.И. Карагодин, Н.Н. Митрохин. – М.: Мастерство; Высш. школа, 2001. – 496 с.
3. Савченков Б.Г. Дискретне зміцнення – високоефективний метод забезпечення якості виробів / Б.В. Савченков, В.Г. Гончаров // Оптимізація

виробничих процесів і технологічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – Львів, 2011. – №713. – С. 41–44.

4. Туренко А.Н. Интегрирование технологии газотермического напыления покрытий и метода электроискрового легирования / Туренко А.Н., Полянский А.С., Лузан С.А. // Автомобильный транспорт. – Х.: ХНАДУ, 2011. – Вып. № 28. – С. 109–113.

5. Мелков М.П. Восстановление автомобильных деталей твёрдым железом / Мелков М.П., Швецов А.Н., Мелкова И.М.; 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1982. – 198 с.

Анотація

Про можливість застосування дискретного зміцнення попередньо відновлених гальванічними методами деталей для підвищення їх експлуатаційних властивостей

Пономаренко І.В.

Розглянуто вплив дискретного зміцнення на базі електроіскрового легування на мікроструктуру, твердість і розподіл елементів по перерізу виробів, попередньо відновлених гальванічними залізними покриттями. Встановлено, що така комбінована обробка забезпечує утворення на границі покриття-основа дифузійного шару ~ 3 мкм і не знижує твердість покриття.

Abstract

The possibility of discrete hardening prerduced electroplated articles to improve their performance properties

Ponomarenko I.V.

The effect of discrete hardening on the basis of spark alloying on the microstructure, hardness, and the distribution of elements in the cross section of articles, pre-reduced galvanic iron coating was investigated. It has been established that such a combined treatment leads to the formation of the coating on the border-base diffusion layer ~ 3 μm and don't decrease hardness of the coating.