

УДК 621.9.048 / 621.762.8

Иванов В.И., зав. лабораторией, кандидат технических наук
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»,
г. Москва, Российская Федерация

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАНЕСЕНИЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛИ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

***Аннотация.** Работа направлена на расширение области эффективного использования электроискрового легирования (ЭИЛ) за счет разработки и освоения технологических приемов нанесения на детали порошковой металлургии металлических покрытий с функциональными свойствами. Приведены основные принципы нанесения ЭИ покрытий на пористые металлические поверхности, которые используются на практике.*

***Ключевые слова:** порошковая металлургия, пористый материал, электроискровое легирование, покрытие, технология.*

Данная работа направлена на расширение эффективного использования электроискрового легирования (ЭИЛ), метода, отличающегося высокими универсальностью, технологичностью и экономичностью, не требующего сложной и затратной подготовки поверхности для обработки, реализуемого в простых производственных условиях с использованием относительно несложного и недорогого оборудования, быстро осваиваемого персоналом.

Характерной особенностью всех освоенных сегодня объектов ЭИЛ (детали машин, режущие инструменты, технологическая оснастка) является *сплошность* материалов, из которых они изготовлены, т.е. без разрывов, пустот, пор, трещин, включений и т.д. Это - конструкционные, легированные и инструментальные стали, многие марки чугунов, цветные металлы и сплавы, сплавы специального назначения. Все эти материалы получают методом литья или в прокатном производстве. Изготовление различных изделий из этих материалов сопряжено со значительными отходами, например, в

виде стружки при механической обработке; количество отходов порой достигает 70 – 80 % от исходной массы заготовок.

Наряду с металлургией, прокатным производством, производящими такие металлы и сплавы, с середины прошлого века особо интенсивно развивается порошковая металлургия, объектами производства которой являются детали различных конструкций и назначения, полученные методом прессования и спекания. При этом количество отходов минимально – до 3 – 5 % от массы детали или они отсутствуют. Отличительной чертой деталей, полученных порошковой металлургией, является их *пористость*, составляющая от 2 – 3 до 40 % от объема материала детали. Наличие пористости вносит существенное изменение на формирование упрочняющего или восстанавливающего покрытия при ЭИЛ. Это изменение выражено в разрушении пористого поверхностного слоя под воздействием искровых разрядов, препятствующего формированию упрочняющего или восстанавливающего покрытия.

В технической литературе имеются отдельные сведения о применении ЭИЛ для увеличения ресурса таких материалов [1, 2], однако их пористость не превышает 4 – 5 % и технология ЭИЛ не имеет принципиальных отличий от обработки сплошных материалов. При ЭИЛ материалов с большей пористостью традиционные технологические приемы не обеспечивают возможности и не пригодны для формирования электроискровых (ЭИ) покрытий на них. Однако большая номенклатура деталей, изготовленных методом порошковой металлургии или изготовленных из сплошных материалов, но имеющих в результате эксплуатации дефекты поверхностного слоя (поры) при сохранении остальных необходимых свойств, выполняют ответственные функции и определяют ресурс изделий, в которых они работают. Улучшение или восстановление их эксплуатационных свойств приобретает важное значение. Ввиду отсутствия опыта ЭИЛ пористых металлических материалов и дефектных металлических поверхностей, имеющих повышенную – более 5 % - пористость, исследования процесса формирования ЭИ функциональных покрытий и разработка на основе этих исследований прикладных технологий применительно к таким объектам является *актуальной задачей*. Решение ее позволит значительно расширить область применения экономичного и эффективного метода

ЭИЛ как для увеличения ресурса новых деталей, так и восстановления работоспособности изношенных деталей с дефектным поверхностным слоем.

Рассмотрим проблемы, которые связаны с формированием ЭИ покрытий на пористых (дефектных) материалах.

При прохождении импульса электрической энергии между электродом и деталью под воздействием высокой температуры, развивающейся в канале разряда, происходит расплавление и испарение материала с обоих электродов. В зависимости от материалов электрода и детали, формы и полярности импульсов эрозия одного из них преобладает. Метод ЭИЛ реализуется при полярности «анод - электрод, катод – деталь» и преобладающей эрозии анода с переносом элементов его материала на катод.

Экспериментально установленным фактом является то, что по электроэрозионной устойчивости все металлы располагаются в определенный ряд, начинающийся (в порядке возрастания) оловом и цинком и заканчивающийся тугоплавкими металлами и графитом. Поэтому модель процесса переноса материала с анода на катод будет различна для металлов, находящихся в начале и в конце этого ряда. К примеру, когда на сталь наносятся материалы со сравнительно небольшой электроэрозионной устойчивостью (олово, цинк, серебро, медь и др.), то основное количество металла, выбрасываемого единичным электрическим импульсом из анода и осаждающегося на катоде, столь велико, что количеством металла, выбрасываемого этим же импульсом из материала катода, можно пренебречь. Это касается поверхности сплошных материалов с низкой шероховатостью.

Однако эрозионная составляющая изменения массы катода при ЭИЛ, которая связана с физическими свойствами материала катода, электрическими параметрами обработки и ее удельной длительностью, в значительной степени зависит также от контактной площади обрабатываемой поверхности: повышение шероховатости поверхности катода и снижение при этом контактной площади является причиной увеличения эрозии его поверхности (до 120 % и более по отношению к приросту массы катода). Указанный эффект можно в полной мере отнести к несплошным материалам. При обработке методом ЭИЛ таких

материалов с использованием традиционных технологических приемов искровые разряды обычно разрушают их поверхность и поверхностный слой.

С учетом отмеченного, рассмотрим методологические основы нанесения ЭИ покрытий на несплошные металлические поверхности.

При ЭИЛ сплошных токопроводящих материалов (рисунок 1а) интенсивность формирования покрытий связана преимущественно с энергетическими параметрами искровых импульсов, химическим составом катода и анода, наличием условий для создания неограниченных твердых растворов в поверхностном слое катода и эффективного протекания диффузионных процессов в нем.

В значительной степени оказывает влияние на этот процесс также контакт электрода-анода и детали-катода, характеризуемый количеством пятен контактов.

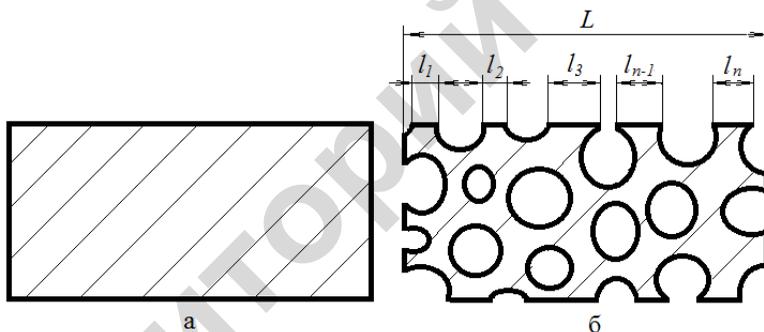


Рисунок 1 – Сплошной (а) и пористый (б) материалы

Значение числа пятен фактического контакта n_r , их среднюю площадь ΔA_r и среднее расстояние между ними S_r можно определить по формулам 3, 4:

$$n_r = \frac{3,1A_c}{21r_{np}R_a} \left(\frac{p_c}{p_r} \right)^{0,66}, \quad (1)$$

где A_c - контурная площадь контакта, r_{np} - приведенный радиус

вершин неровностей, $r_{np} = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}$, где r_1 и r_2 - средние радиусы

вершин микронеровностей двух контактируемых шероховатых поверхностей, R_a – среднеарифметическое отклонение профиля.

$$\Delta A_r = 6,93 r_{np} R_a \left(\frac{P_c}{P_r} \right)^{0,33}, \quad (2)$$

$$S_r = 0,57 (21 r_{np} R_a)^{0,5} \left(\frac{P_r}{P_c} \right)^{0,33}. \quad (3)$$

В процессе деформации и оплавления наиболее высоких неровностей электродов происходит дальнейшее сближение двух поверхностей под действием движущегося к поверхности детали электрода и растягивание тока, плотность которого уменьшается, так как увеличивается фактическая площадь контакта. Если плотность тока выше критического значения, то начинают расплавляться мостики связи и на меньших неровностях.

Наличие пор на контактной поверхности катода значительно изменяет, ужесточает энергетические условия на контакте.

Исходя из этого, для назначения технологии ЭИЛ пористых материалов необходимо учитывать следующую функциональную зависимость:

$$(E, t_{имп}, c), (N_a, T_{пл а}, \lambda_a) = f [(N_k, T_{пл к}, \lambda_k), C], \quad (4)$$

где $E, t_{имп}, c$ – соответственно, энергия, длительность и скважность искровых импульсов; $N_a, T_{пл а}, \lambda_a$ – соответственно, химический состав, температура плавления и теплопроводность анода; $N_k, T_{пл к}, \lambda_k$ – соответственно, химический состав, температура плавления и теплопроводность катода; C – сплошность пористого материала,

$$C = \Sigma (l_1 + l_2 + \dots + l_n) / L, \quad (5)$$

где l_1, l_2, \dots, l_n – длина участков контактной поверхности; L – общая длина участка обработки.

Базовым технологическим приемом при нанесении ЭИ покрытий на несплошные материалы используется техническое решение по нанесению толстослойных покрытий повышенной сплошности (ТСП), описанное в [5, 6].

На основании вышесказанного, сформулируем основные принципы нанесения ЭИ покрытий на пористые металлические поверхности:

1. Эффективность процесса нанесения ЭИ покрытий преобладающим образом зависит от теплофизических свойств несплошно-

го материала и его пористости, при этом материалы катода с пониженными температурой плавления и эрозионной стойкостью, а также увеличенной пористостью или дефектностью обладают ухудшенной способностью для формирования на них ЭИ покрытий.

2. Незначительная равномерная пористость (до 2-3 %) материала катода не оказывает заметного влияния на процесс формирования ЭИ покрытия, и ЭИЛ таких материалов выполняется традиционным способом с использованием приемов обработки сплошных металлических материалов.

3. С увеличением пористости (дефектности) материалов или поверхностных слоев необходимо соблюдать при ЭИЛ следующие условия:

а) ЭИЛ вести в несколько этапов:

- подготовку поверхности с увеличением ее эрозионной стойкости за счет повышения контактной сплошности,

- формирование покрытия требуемой толщины с использованием приемов нанесения ТСП,

- придание поверхностному слою требуемых эксплуатационных свойств, т.е. обеспечение соответствия функциональному назначению;

б) для исключения или уменьшения разрушения пористого или дефектного поверхностного слоя обрабатываемого изделия от воздействия искровыми разрядами на первом этапе ЭИЛ вести на пониженных электрических режимах, с меньшей энергией импульсов, чем при обработке сплошных материалов. Следующей операцией может быть ЭИЛ на обычных электрических режимах;

в) материал электрода на этапе подготовки поверхности должен обладать пониженными температурой плавления и эрозионной стойкостью в сравнении с обрабатываемым несплошным материалом. В этом случае абсолютное количество металла, выбрасываемого единичным электрическим импульсом из анода и осаждающееся на катоде, столь велико, что количеством металла, выбрасываемого этим же импульсом из поверхности катода, можно пренебречь. Это условие является необходимым для последующего ЭИЛ и нанесения покрытия требуемой толщины.

На следующих этапах обработки целесообразно применение электродов с необходимыми свойствами и формирующих основной слой покрытия с достаточными механическими параметрами.

4. Придание поверхностному слою требуемых эксплуатационных свойств на завершающем этапе обработки осуществлять подбором электродных материалов, электрических и механических параметров ЭИЛ и удельной длительности обработки аналогично обработке сплошных материалов.

В заключение отметим, что приведенная методология обработки методом ЭИЛ несплошных металлических материалов, полученных порошковой металлургией, а также пористых поверхностных слоев, образовавшихся на деталях в процессе эксплуатации, проверена на практике и используется при нанесении упрочняющих и восстанавливающих покрытий.

Список использованной литературы

1. Коневцов Л.А. / Повышение работоспособности режущего инструмента из вольфрамсодержащих твердых сплавов электроискровым легированием металлами и боридами. // Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. - Комсомольск-на-Амуре, 2009. - 23 с.

2. Слуковская К.Н. / Исследование и разработка технологий упрочнения горячештампованных порошковых сталей хромом, молибденом, никелем и ванадием методами диффузионного насыщения и электроискрового легирования с целью повышения эксплуатационных свойств. // Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. - Москва, 2012. - 17 с.

3. Бурумкулов Ф.Х., Лезин П.П., Сенин П.В., Иванов В.И., Величко С.А., Ионов П.А. / Электроискровые технологии восстановления и упрочнения деталей машин и инструментов (теория и практика). - Под ред. Ф.Х. Бурумкулова. - Саранск: Тип. «Красный Октябрь», 2003. - 504 с.

4. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. В 2-х кн. / Под ред. И.В. Крагельского, В.В.Алишина. - М.: Машиностроение, 1978. - Кн. 1. 1978. - 400 с.

5. Иванов В.И., Бурумкулов Ф.Х., Денисов В.А. / Электроискровой способ нанесения толстослойных покрытий повышенной сплошности // Евразийский патент № 017066 от 28.09.2012, опубл. Бюллетень ЕАПВ «Изобретения (евразийские заявки и патенты)» № 9 за 2012, 28.09.2012.

6. Иванов В.И., Бурумкулов Ф.Х. / Об электроискровом способе нанесения толстослойных покрытий повышенной сплошности. // Электронная обработка материалов. 2014. Т. 50. С. 7-10.