

USING OF CARBON FOR FORMING OF THE NANOSTRUCTURAL LAYERS AT HARDENING METAL SURFACES BY THE MICROPLASMA - SPARK METHOD

N. M. Chigrinova., V. V. Chigrinov

SSI "Powder Metallurgy Institute" NAS the Republic of Belarus,
Minsk, Platonov Str.41, E-mail: chigrin@mail.bn.by

One of the most perspective methods of products properties improvement which are made from current conductive materials is the microplasma-spark alloying with ultrasonic treatment. At hardening metal surfaces by the said method a complex energy effect on the substrate material takes place. During such treatment nanocrystal structures are formed simultaneously with the diffusion annealing of the surface being hardened in the surface layers. These nanocrystal structures have increased hardness and plasticity. Ultrasonic treatment decreases the tension level in the crystal lattice of the material, excludes brittleness, easy damaging and spalling of the surface at the influence of stroke, temperature and others.

The correct choice of materials of the alloying electrodes and optimal regimes of the said method determines the effectiveness of the treatment for products which are used in hard-load conditions.

The first reason to use graphite as an electrode material is the possibility to form carbides of the treated material which are the basis of the hardening layer. The second reason is the high similarity of graphite to the substrate material made from ferrous and non-ferrous metals. As the result we can intensify and stabilize the hardening process with the simultaneous forming of the substrates of nanocrystal structures of the various compounds in the surface layers.

The investigation of the character and peculiarities of the microplasma-spark alloying method with ultrasonic modifying of the layer being hardened by the carbon anode is carried out. The investigation is carried out by studying the fine material structure at the influence of the charged particles flow and impulse charges with the modifying of the changed structure by the acoustic impulse. As a model materials alloyed steels and non-ferrous metals are chosen.

The study of the properties of the chosen materials after their modification is carried out by the said method using as examples a die rigging of the sophisticated form and tool for production of products for agriculture machines, which are subject to stroke loading, and the cover of thermal

converters which are used to fix temperature fields inside fuel assemblies of nuclear reactors. The material of the cover is influenced by stretching tensions during critical situations inside the reactor.

Microplasma-spark treatment of the studied materials by the graphite electrode is carried out according to the following schemes: scheme 1 – microplasma-spark alloying (MPSA); scheme 2 – ultrasonic treatment with the following microplasma-spark alloying and modifying of the changed structure by the acoustic impulse (MPSA + USM).

The investigation of the fine structure of the steel and zirconium substrates after graphite electrode treatment by the methods MPSA and MPSA + USM is carried out by establishing the deformation degree of the studied materials structure state using PCA-analysis. For calculation of the fine structure parameters a special set of programs GOR of the automatic X-ray diffractometer investigation of the fine structure is used. It is carried out on IBM PC/AT. The set of programs GOR includes the subprograms "Split Line", Fourl 1 and MICROL. Besides, the investigation of the surface topography with the help of the light microscopy is carried out. Analysis of the hardening degree according to the results of the Knupp's hardness measurement is also carried out.

During the investigation it is found out that hardening of the studied materials by the graphite electrode according to the both schemes of treatment resulted the changing of the phase compound of the modified surfaces. The scheme of hardening determines the transferring of the mass from alloying electrode to the cathode surface. This scheme corrects the phase compound of the cathode surface layers and a quantity relation of different phases. It appears that during the hardening the studied materials according to MPSA + USM scheme the content of the studied melt in the surface substrate layer lowers. For the alloyed steel the content of Fe-Cr lowers from 73% to 4,8%, but you can observe sophisticated carbide formations in the material structure. Double and triple carbide systems sum up to 87%. During the hardening of the zirconium sample surface by the

graphite electrode according to the scheme 2 a coating forms with the thickness up to 5 μm . This coating doesn't have a marked boundary with the substrate. The view of the formed coating and a microstructure state of the surfaces of the hardened zone under the coating prove a stable diffusion interaction process. This fact is also showed by the topography of the hardened surface. The topography illustrates a homogenous microstructure, absence of the marked defects and zones of different color which, as a rule, shows the presence of different phases in the coating. The increased microhardness of the zone directly under the coating is a result of the zirconium carbides forming. The main phases in the said coating are as follows: zirconium carbides with cubic lattice (78,2%); zirconium carbides in the hexagonal modification (21,8%).

The analysis of the results of parameters estimation of the fine structure also showed no considerable similarity of the materials modified according to different schemes. The size of crystallites Fe C_{1-x} and Zr C_{1-x} after microplasma chemical treatment with the applying of ultrasonic is 50 μm in the surface layer (scheme 1- MPSA + USM). This is 1,5 times as less as after treatment without ultrasonic (scheme 1-MPSA). It does not depend on the modified material compound. During the dividing process in the profile of nearly registered lines of the (110) Fe-Cr solid solution and (200) zirconium carbide - Zr C_{1-x} the "halo" of the amorphous-micro-crystal phase with the size of the body-crystal lattice (BCL) of 4 μm has appeared. It is 1,5 times as lower as in the

materials modified according to the scheme 1. Besides, it is shown that in the surface layer of steel and zirconium melt, formed by the graphite electrode, that after the treatment according to the scheme 2 the density of dislocation $\rho=9,8$ is 1,5 times as less as in the materials hardened according to the scheme 1, where this parameter is $16 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^{-1}$. In the studied materials it is fixed a low micro deformations level OSMD ($\langle E^2 \rangle^{1/2}$) $10^{-4} \approx 8$ (the scheme MPSA + USM) after the hardening according to the scheme 2 and $40 \cdot 10^{-4}$ (the scheme MPSA). It happens even then when as a result of micro cracking of the graphite modified materials without ultrasonic a relaxation of a part of tensions takes place in them. Micro cracking is found out during the investigation of the material microstructure.

CONCLUSION

Microplasma-spark hardening by the graphite electrode is a result of stabilization of interaction between substrate and electrode materials. It leads to the forming of thicker and uniform in thickness coatings which are a heterophase material with a stable structure, the increased content of the main metal carbides, hardened diffusion zone which includes double and triple carbide systems. The hardening of the studied materials according to different schemes corrects considerably the structural state of the treated materials. The hardening of the modified alloyed steel and zirconium by graphite with ultrasonic leads to the breaking of the phases presented in the coating, forms nanostructural layers, relaxes inner structural tensions and improves surface frequency.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕРОДА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОСТРУКТУРНЫХ СЛОЕВ ПРИ УПРОЧНЕНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МИКРОПЛАЗМОИСКРОВЫМ МЕТОДОМ

Чигринова Н.М., Чигринов В.В

ГНУ «Институт порошковой металлургии» НАН Республики Беларусь,
г. Минск, ул Платонова, 41, E-mail:chigrin@mail.bn.by

Одним из наиболее перспективных методов улучшения свойств изделий из токопроводящих материалов является микроплазмоискровое легирование с ультразвуковой обработкой. При упрочнении металлических поверхностей данным методом происходит комплексное энергетическое воздействие на материал подложки. При такой обработке одновременно с гомогенизацией структуры упрочняемой поверхности в приповерхностных слоях изделия формируются нанокристаллические структуры, обладающие повышенной прочностью и пластичностью. Ультразвуковая обработка приводит также к снижению уровня напряженности в кристаллической решетке материала, исключая хрупкость, легкую повреждаемость и скалываемость покрытий при ударных, температурных и прочих воздействиях.

Грамотный подбор материалов легирующих электродов в сочетании с оптимальными режимами указанного метода определяет эффективность такой обработки для изделий, функционирующих в сложнапряженных условиях.

Использование графита в качестве электродного материала обусловлено возможностью формирования карбидов обрабатываемого материала, составляющих основу упрочняющего слоя, а также его высоким сродством к материалу подложки как для черных, так и цветных металлов, в результате чего удастся интенсифицировать и стабилизировать процесс упрочнения с одновременным формированием в поверхностных слоях подложек различного состава нанокристаллических структур.

Исследование характера и особенностей формирования методом микроплазмоискрового легирования с ультразвуковым модифицированием упрочненного слоя углеродным анодом осуществлялось посредством изучения тонкой структуры материала под воздействием энергии потока заряженных частиц при импульсных разрядах с модифицированием преобразованной структуры акустическим импульсом.

В качестве модельных материалов были выбраны легированные стали и цветные металлы. Изучение свойств выбранных материалов после их модификации указанным способом производилось на примерах сложнопрофильной штамповой оснастки и инструмента для производства изделий сельхозтехники, подвергаемых в процессе работы ударному нагружению, и чехлов термопреобразователей, предназначенных для фиксации температурных полей внутри кассет с твэлами в ядерных реакторах, изготовленных из циркониевого сплава 365 -Zr-Nb.

Материал чехлов испытывает при работе воздействие растягивающих напряжений критических величин при возникновении нештатной ситуации внутри реактора.

Микроплазмоискровая обработка графитовым электродом изучаемых материалов осуществлялась в соответствии со следующими схемами:

- схема 1 -микроплазмоискровое легирование (МПИЛ);
- схема 2 -ультразвуковая обработка с последующим микроплазмоискровым легированием и модифицированием преобразованной структуры акустическим импульсом (МПИЛ+УЗМ).

Исследование тонкой структуры стальной и циркониевой подложек после их обработки графитовым электродом методами МПИЛ и МПИЛ+УЗМ осуществлялось посредством установления степени деформационного воздействия на структурное состояние изучаемых материалов с использованием РСА - анализа. Для расчета параметров тонкой структуры использовался специальный пакет программ GOR автоматизированного рентгенодифрактометрического исследования тонкой структуры, реализованный на IBM PC/AT. Пакет программ GOR включал подпрограммы "Split Line", Fourl1 и MICROL. Кроме того, производилось исследование топографии поверхности с помощью световой микроскопии и осуществлялся анализ степени упрочнения по результатам измерения микротвердости по Кнуппу.

В процессе исследования установлено, что упрочнение исследуемых материалов графитовым электродом по обеим схемам обработки обусловило существенное изменение фазового состава модифицированных поверхностей. При этом схема упрочнения, определяющая массоперенос легирующего электрода на поверхность катода, вносит заметные коррективы как в фазовый состав его поверхностных слоев, так и в количественное соотношение различных фаз.

Оказывается, что при упрочнении изучаемых материалов по схеме МПИЛ+УЗМ в поверхностном слое подложек, независимо от их состава, заметно уменьшается присутствие основного соединения изучаемого сплава. Для легированной стали содержание Fe-Cr снижается 73% до 4,8%, но при этом фиксируется появление в структуре материала сложных карбидных образований - двойных и тройных карбидных систем, суммарное количество которых достигает 87%. При упрочнении поверхности циркониевого образца графитовым электродом по схеме 2 формируется покрытие, толщина которого достигает 50 мкм, не имеющее выраженной границы с подложкой. Вид сформированного покрытия и микроструктурное состояние поверхностной упрочненной зоны под покрытием свидетельствуют о прошедшем процессе стабильного диффузионного взаимодействия, что подтверждается топографией упрочненной поверхности, иллюстрирующей практически гомогенную микроструктуру, отсутствие каких-либо выраженных несовершенств, разноокрашенных зон, определяющих, как правило, наличие различных фаз в покрытии. Повышенная микротвердость зоны непосредственно под покрытием обусловлена образованием карбидов циркония. Основные фазы в указанном покрытии - 78.2 % карбидов циркония с кубической решеткой, 21.8% карбидов циркония в гексагональной модификации.

Анализ результатов оценки параметров тонкой структуры также выявил существенное отличие модифицированных по различным схемам материалов. Так, размеры кристаллитов FeC_{1-x} и ZrC_{1-x} в поверхностном слое составляют 50 нм после микроплазмохимической обработки с наложением ультразвука (схема 1-МПИЛ+УЗМ), что в 1.5 раза меньше, чем

после обработки без ультразвука (схема 1-МПИЛ) независимо от состава модифицируемого материала. В профиле почти совмещенных линий (110) Fe-Cr твердого раствора и (200) карбида циркония - ZrC_{1-x} при разделении четко выявилось "галло" аморфно-микро-кристаллической фазы с размером ОКР 4 нм, что также в 1.5 раза меньше в случае обработки поверхностей изучаемых материалов по схеме 2, чем в материалах, подвергнутых модифицированию по схеме 1. Кроме того, было выявлено, что в поверхностном слое стали и циркониевого сплава, сформированном графитовым электродом, после обработки по схеме 2 плотность дислокаций $\rho = 9.8$ в полтора раза меньше, чем в материалах, упрочненных по схеме 1, где это параметр составляет - $16 \cdot 10^8 \text{ см}^{-1}$. В исследуемых материалах после упрочнения по схеме 2 зафиксирован существенно более низкий уровень микродеформаций - ОСМД ($\langle E^2 \rangle^{1/2}$) $10^{-4} \approx 8$ (схема МПИЛ+УЗМ) и $40 \cdot 10^{-4}$ (схема МПИЛ) и это при том, что в результате микрорастрескивания, выявленного при исследовании микроструктуры материалов, модифицированных графитом без ультразвука, в них произошла релаксация части напряжений

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Микроплазмоискровое упрочнение графитовым электродом обуславливает стабилизацию взаимодействия материалов подложки и электрода, приводя к формированию более толстых и равно-мерных по толщине покрытий, представляющих собой гетерофазный материал со стабильной структурой с увеличенным содержанием карбидов основного металла, и упрочненную диффузионную зону, насыщенную двойными и тройными карбидными системами. Упрочнение изучаемых материалов по различным схемам вносит заметные коррективы в структурное состояние подвергнутых обработке материалов. Так, упрочнение графитом с ультразвуковым модифицированием легированной стали и циркония обуславливает дробление присутствующих в покрытии фаз и приводит к формированию наноструктурных слоев, снятию в структуре внутренних напряжений и улучшению чистоты поверхности.