

ДОСТИЖЕНИЯ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИОННО-ЛУЧЕВЫХ МЕТОДОВ В МОНОЛИТНО-ИНТЕГРАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ СВЧ

В.В. Перинский, И.В. Перинская

Исследованные эффекты микроконструирования свойств тонких металлических слоев ионно-лучевым модифицированием позволили разработать ряд оригинальных способов изготовления микрокомпонентов интегральных схем СВЧ, создать конкурентоспособные ионно-лучевые аналоги существующих технологических процессов, используя ионный синтез на поверхности металлов ультрадисперсного беспористого углеродного покрытия с уникальным сочетанием коррозионных, электрических и механических свойств. Ионная технология эффективно сочетается с вакуумными процессами металлизации и импульсного отжига, что позволяет реализовать как субмикронную ионную литографию, так и полный технологический цикл изготовления монокристаллических устройств.

Ключевые слова: имплантация ионов, ионно-лучевое модифицирование, электрически неактивные примеси, пассивация и улучшение свойств фоторезистивных покрытий, управление химической активностью металлических покрытий

EFFECTIVENESS OF ION IMPLANTATION AND FUTURE OF ION-RAY METHODS IN MONOLITHIC INTEGRATION MICROELECTRONICS TECHNOLOGY

V.V. Perinsky, I.V. Perinskaya

Investigation into effects of microconstruction of thin metal layer properties using the ion-beam modification promoted the development of ingenious methods of fabricating the microcomponents to microwave integrated circuits, and create effective ion-beam analogues to the existing technological processes based on the ion synthesis over the metal surfaces of ultrafine non-porous carbon coatings with a unique combination of corrosive, electrical and mechanical characteristics. The ion technology effectively combines with the vacuum processes of metallization and pulse annealing, which enables realization of both submicron ion lithography and complete technological cycle in the production of monolithic devices.

Keywords: ion implantation, ion-beam modification, electrically inactive impurities, passivation and improvement of photoresistive coating characteristics, monitoring the chemical activity of metal coatings

ЧИСЛЕННЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СВЧ ТЕРМООБРАБОТКИ ДИЭЛЕКТРИКОВ В СВЧ КАМЕРАХ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

В.В. Захаров, С.В. Тригорлый

Рассмотрены результаты численных и экспериментальных исследований процессов СВЧ термообработки диэлектриков в СВЧ камерах бегущей волны на примере высокотемпературного нагрева керамических изделий и СВЧ сушки увлажненного песка в них. Приведены результаты анализа влияния учета изменения физических свойств объектов термообработки на характер тепловыделения в них при СВЧ нагреве.

Ключевые слова: математическое моделирование, СВЧ термообработка, нагрев, сушка, диэлектрики, физические свойства

NUMERICAL AND FIELD RESEARCH OF MICROWAVE THERMAL PROCESSING OF DIELECTRICS IN MICROWAVE TRAVELLING WAVE CHAMBERS

V.V. Zakharov, S.V. Trigorly

The results of numerical and field tests of the processes relating microwave heat treatment of dielectrics in microwave traveling-wave chambers are considered based on the case of high-temperature heating of ceramic products and microwave drying of moistened sand. The analysis results of the impact of the changes in the physical properties of heat treatment objects on the nature of heat release during the microwave heating are presented.

Keywords: mathematical modeling, microwave heat treatment, heating, drying, dielectrics, physical properties

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЛЕКСА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ И ТИРИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ С ФАЗОИМПУЛЬСНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

В.П. Рубцов, Е.С. Рязанова, А.Ю. Чурсин

Рассматриваются энергетические характеристики регулятора температуры электрической печи сопротивления, получающей питание от сети переменного тока с использованием тиристорного регулятора напряжения с фазоимпульсным управлением. Исследования проводятся применительно к комплексу, включающему собственно печь сопротивления, тиристорный регулятор напряжения с фазоимпульсным управлением, датчик температуры и регулирующее устройство, вырабатывающее пропорционально-интегрально-дифференциальный закон управления. В отличие от традиционных исследований в статье анализируется совокупность электрических и тепловых процессов, протекающих в комплексе оборудования, включающем электрическую печь сопротивления и тиристорный регулятор напряжения с фазоимпульсным управлением. С использованием разработанной имитационной модели рассчитываются такие виртуальные энергетические характеристики, как полная, активная и реактивная мощности, а также коэффициент мощности, определяющий эффективность работы комплекса и установленные мощности тиристорных регуляторов напряжения. Анализируется влияние на эффективность работы комплекса такого показателя, как превышение установленной мощности регулятора напряжения над средней мощностью, потребляемой печью.

Ключевые слова: электрическая печь сопротивления, энергетические характеристики, фазоимпульсное регулирование напряжения, регулятор температуры

USING A SIMULATION MODEL TO DETERMINE THE ENERGY CHARACTERISTIC OF AN ELECTRIC RESISTANCE FURNACE COMPLEX AND A THYRISTOR VOLTAGE REGULATOR WITH A PHASE-PULSE CONTROL

V.P. Rubtsov, E.S. Ryazanova, A.Yu. Chursin

The energy characteristics of the temperature controller of an electric resistance furnace that receives power from the AC net-work using a thyristor voltage regulator with phase-pulse control are considered. The re-search is carried out in relation to a complex that includes the resistance furnace itself, a thyristor voltage regulator with phase-pulse control, a temperature sensor and a regulating device that generates a proportional-integral-differential control law. In contrast to traditional research, the article analyzes the totality of electrical and thermal processes occurring in a complex of equipment that includes an electric resistance furnace and a thyristor voltage regulator with phase-pulse control. Using the developed simulation model, such virtual energy characteristics as total, active and re-active power, as well as the power factor that determines the efficiency of the complex and the installed power of thyristor voltage regulators are calculated. The influence on the efficiency of the complex of such an indicator as the excess of the installed power of the voltage regulator over the average power consumed by the furnace is analyzed.

Keywords: electric resistance furnace, energy characteristics, phase-pulse voltage regulation, temperature controller

РАЗРАБОТКА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ЧАСТИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ФУТЕРОВКИ ТИГЛЯ И АВАРИЙНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ

И.Ю. Долгих, М.Г. Марков

Предложен вариант микропроцессорной системы, реализующей мониторинг состояния огнеупорной футеровки, отображение места и степени её разрушения, а также аварийное отключение индукционной плавильной печи при достижении критического уровня износа

тигля. Разработаны структура, схема и алгоритмы функционирования многоканального монитора с одним концентратором. Составлены программы для микропроцессоров и выполнена их проверка с использованием отладчика MPLAB-Sim и среды симуляции Proteus.

Ключевые слова: индукционная тигельная печь, система мониторинга огнеупорной футеровки, аварийное отключение, термopара, микропроцессор, аналогово-цифровой преобразователь (АЦП)

A MICROPROCESSOR SEGMENT TO MONITORING THE CRUCIBLE LINING AND EMERGENCY BLACKOUT OF INDUCTION FURNACES

I.Yu. Dolgikh, M.G. Markov

A type of the microprocessor system is proposed to monitor the status of the refractory lining, its location and destruction degree, as well as emergency blackout of the induction melting furnace under the critical level of the crucible wear. The structure, schematic and operation algorithms for a multi-channel monitor with a single concentrator have been developed. The programs for microprocessors have been designed and verified using the MPLAB-Sim debugger and the Proteus simulation environment.

Keywords: induction crucible furnace, refractory lining monitoring system, emergency blackout, thermocouple, microprocessor, analog to the digital converter (ADC)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЭКОНОМИЧНОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МЕТОДОМ ВЗАИМНОЙ НАГРУЗКИ

Д.И. Попов

Обоснована актуальность вопроса оценки энергетической эффективности электротехнических комплексов для испытания асинхронных двигателей методом взаимной нагрузки. Введены понятия коэффициентов затрат и экономичности. Произведена оценка возможных значений коэффициента экономичности для широкого диапазона номинальных мощностей. Полученные значения коэффициента экономичности могут быть использованы при предварительном расчете параметров электротехнических комплексов для испытания асинхронных двигателей методом взаимной нагрузки.

Ключевые слова: коэффициент экономичности, испытания, асинхронные двигатели, взаимная нагрузка, энергоэффективность

DETERMINATION OF THE COST-TO-PERFORMANCE RATIO OF ELECTRICAL SYSTEMS IN TESTING INDUCTION MOTORS BY THE LOADING-BACK METHOD

D.I. Popov

The article provides rationale for assessment of energy efficiency of electrical systems used in testing induction motors by the loading-back method. The concepts of input coefficient and cost-to-performance ratio are introduced. The possible values of the cost-to-performance ratio are estimated for a range of rated power capacity. The obtained cost-to-performance values can be used in sample calculations of parameters of electrical systems used in testing induction motors by the loading-back method.

Keywords: cost-to-performance ratio, testing, induction motor, loading-back method, energy efficiency

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА МАГНИТНОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЕЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛЭП

Б.К. Сивяков

Приведены аналитические математические модели, позволяющие осуществлять анализ магнитного и электрического полей промышленных высоковольтных воздушных линий в окружающем пространстве для принятия последующих решений в области обнаружения ЛЭП летательными аппаратами и оценки электромагнитного загрязнения окружающей среды.

Ключевые слова: магнитное и электрическое поля, высоковольтные линии электропередачи промышленной частоты, безопасность полетов, электромагнитное загрязнение окружающей среды

MATHEMATICAL MODELS FOR ANALYTICAL CALCULATION OF MAGNETIC AND ELECTRIC FIELDS OF HIGH-VOLTAGE TRANSMISSION LINES

B.K. Sivyakov

The article presents analytical mathematical models required in the analysis of magnetic and electric fields of industrial high-voltage transmission lines in the surrounding space. The models enable the subsequent decisions important in the detection of high-voltage transmission lines using flight vehicles, and allow for estimation of electromagnetic pollution of the environment.

Keywords: magnetic and electric fields, high-voltage power lines of industrial frequency, flight safety, electromagnetic pollution of the environment

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ КУБА

Д.Д. Герра, Э.В. Яковлева

В статье представлены результаты моделирования в среде Matlab/Simulink различных электрических компонентов, составляющих солнечную электростанцию (СЭС) мощностью 5 кВт, подключенных к электрической сети региона Сантьяго-де-Куба (Республика Куба). Разработанная модель позволяет исследовать вольт-амперные характеристики (ВАХ) солнечных модулей в зависимости от таких метеорологических условий как интенсивность солнечного излучения, температура окружающей среды, относительная влажность и скорость ветра как для стационарных СЭС, так и для СЭС с системами слежения за солнцем. Кроме того, с помощью математической модели однофазного солнечного инвертора и однофазного электрического трансформатора, реализованного в программе, возможно исследовать поведение электрических переменных системы, таких как активная, реактивная и полная мощности, коэффициент мощности системы. В заключение следует отметить, что разработанная модель позволяет исследовать системы подключения СЭС к сети с учетом специфических климатических условий региона.

Ключевые слова: моделирование, солнечная электростанция, система слежения за солнцем, ВАХ солнечного модуля

MATHEMATICAL MODELING OF SOLAR POWER PLANTS SPECIFIED FOR THE CLIMATE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF CUBA

D.D. Guerra, E.V. Yakovleva

The article presents the simulation results based on Matlab/Simulink environment of the various electrical components to the solar power plant (SES) with the capacity of 5kW connected to the power grid of Santiago de Cuba (Republic of Cuba). The developed model allows for a research into the V-I characteristic (V-I) of the solar modules depending on meteorological conditions such as solar radiation intensity, ambient temperature, relative humidity and wind speed important both for the stationary SES and for the SES with solar tracking systems. In addition, mathematical models for a single-phase solar inverter and a single-phase electric transformer can be applied to investigate the behavior of electrical variables of the system, such as active, reactive and gross capacitance, and the system power factor. The developed model allows for a research into the systems of SES connection to the grid with account for specific climatic conditions of the region.

Keywords: modelling, solar plant, solar tracking system, solar module V-I characteristic

ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ НАЛИЧИИ ВЫСШИХ ГАРМОНИК

А.Н. Скамьин, В.С. Добуш, Ю.В. Растворова

Данная работа посвящена изучению влияния напряжения на параметры электропотребления или наличия гармонических искажений в напряжении и токе. В лабораторных условиях на разработанном стенде были измерены параметры электропотребления нагрузки для трех различных режимов работы и рассчитаны их статические характеристики по напряжению. Активная, реактивная и полная мощности вычислялись на основании выбранных теорий мощности. Выявлено, что при суммарном коэффициенте гармонических искажений напряжения менее 5% основную роль в возникновении и изменении мощности искажений играет коэффициент гармонических искажений тока, в то время как при значении выше 5% значительный эффект наблюдается при изменении напряжения потребителя, что может стать инструментом для регулирования величины потребляемой мощности искажений.

Ключевые слова: высшие гармоники, нелинейная нагрузка, гармонические искажения, качество электрической энергии, мощность искажения

THE IMPACT OF VOLTAGE ON ELECTRIC CONSUMPTION PARAMETERS UNDER HIGHER ORDER HARMONIC

A.N. Skamyin, V.S. Dobush, Yu.V. Rastvorova

This work is devoted to investigating the impact of voltage on the parameters of power consumption or existence of harmonic distortions in voltage and current systems. The power consumption parameters for three different operating modes and their static voltage characteristics have been estimated using the developed laboratory installation. The active, reactive, and total capacity were calculated based on the defined power capacity theories. It has been found that with a total coefficient of voltage harmonic distortion lower than 5% the main role in the occurrence and changes of distortion capacity plays the current harmonic distortion coefficient. Meanwhile, with the voltage harmonic distortion higher than 5%, a significant effect is observed under the changes in consumer voltage that can become a tool for regulating the amount of consumed distortion capacitance.

Keywords: higher-order harmonic, non-linear load, harmonic distortion, electric power quality

АНАЛИЗ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОГЕНЕРАТОРА КОМБИНИРОВАННОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ЭНЕРГЕТИКИ МАЛЫХ И СРЕДНИХ РЕК

Д.С. Аминов

Освоение энергетики малых и средних рек представляет собой актуальную задачу, поскольку суммарный энергетический потенциал этого ресурса во много раз превышает данный показатель для больших рек. В статье рассмотрен гидрогенератор уникальной конструкции. Он полностью погружен в воду, что позволяет не нарушать экологию и эстетику окружающей среды. Для обеспечения гидроизоляции генератор наполнен маслом. Основу его составляет электрическая машина комбинированного возбуждения, на которую имеется патент Российской Федерации. Для проектирования гидрогенераторов данного типа разработана проектная система, которая включает в себя синтез оптимальной геометрии и электромагнитный и тепловой анализ рассчитанной конструкции. В статье представлен заключительный этап анализа – оценка установившегося теплового состояния генератора при номинальной нагрузке. Тепловые расчеты проведены в два этапа. На первом этапе оценка велась на основе метода тепловых схем замещения, на втором этапе оценка осуществлялась с использованием метода конечных элементов. В статье приведены результаты анализа для гидрогенератора 3 кВт 350 об/мин.

Ключевые слова: тепловой анализ, генератор комбинированного возбуждения, микро-ГЭС, метод схем замещения, метод конечных элементов

ANALYSIS OF THERMAL STATE OF HYDROGENERATORS WITH COMBINED EXCITATION APPLIED IN HARNESSING THE HYDROPOWER OF MINOR AND MEDIUM-WIDTH RIVERS

D.S. Aminov

Harnessing the power of minor and medium-width rivers is an urgent task, since their total energy resource is many times over the given indicator for large rivers. The article describes a hydrogenerator of unique design. It is completely dipped in the water, and therefore does not cause damage to ecology or environmental aesthetics. To ensure the water-proofing, the generator is filled with oil. Its core is an electric machine of combined excitation, which is patented in the Russian Federation. To make the design project for this type of hydrogenerators, a design system has been developed that synthesizes the optimal geometry, and electromagnetic and thermal analysis of the calculated construction design. The article presents the final stage of the analysis, i.e. assessment of the thermal state of the generator at the rated load. The thermal calculations were divided into two stages. At the first stage, the assessment was based the thermal equivalent circuit method; at the second stage, the assessment was made using the finite element method. The article presents the analysis results for the 3 kW 350-rpm hydrogenerator.

Keywords: thermal analysis, combined ex-citation generator, micro-hydroelectric power station, equivalent circuit method, finite element method

АКТУАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ УСТАНОВОК КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ

И.И. Артюхов, Ф.П. Мироедов, Д.И. Артюхов

В настоящее время для электрохимической защиты трубопроводов применяют установки, которые получают электрическую энергию от вдольтрассовых линий электропередачи напряжением 6 или 10 кВ. Строительство и монтаж комплекса сооружений, обеспечивающего передачу электроэнергии от централизованных источников до мест размещения установок катодной защиты и преобразование ее параметров до необходимого уровня, характеризуется существенными капитальными затратами. При этом силовое электрооборудование имеет низкий коэффициент использования. В этих условиях возникает вопрос о возможности и целесообразности радикального изменения подхода к построению системы электрохимической защиты за счет применения возобновляемых источников энергии. В статье рассматриваются особенности характеристик фотоэлектрических преобразователей как источников питания установок катодной защиты, предлагаются и анализируются варианты схемной реализации.

Ключевые слова: установка катодной защиты, система электропитания, фотоэлектрический преобразователь

CURRENT STATUS AND NEW TRENDS IN DESIGNING CATHODIC PROTECTION POWER SUPPLY SYSTEMS

I.I. Artyukhov, F.P. Miroedov, D.I. Artyukhov

Currently, the devices that receive electric energy from long-distance power lines with a voltage of 6 or 10 kV are used for electro-chemical protection of pipelines. The construction and installation of a complex of facilities that ensure transmission of electricity from the centralized sources to the location of cathodic protection devices and conversion of its parameters to the required level is characterized by significant material costs. At the same time, the power equipment has a low utilization rate. Under these conditions, the question arises as to the possibility and expediency of a radical change in the approach to building a system of electrochemical protection using renewable energy sources. This paper describes the features of photovoltaic converters as power sources for cathodic protection devices. The variants of circuit implementation are pro-posed and analyzed.

Keywords: cathodic protection station, power supply system, photoelectric converter

ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ОПОРАМИ КОНТАКТНОЙ СЕТИ, НЕ ЗАЗЕМЛЕННЫМИ НА РЕЛЬС, И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

И.А. Кремлев, И.А. Терехин, Р.Б. Скоков, Е.Г. Абишов

В статье представлены основные требования, предъявляемые к системе заземления тягового электроснабжения переменного тока. Выявлены недостатки традиционной системы заземления опор контактной сети на рельсовую сеть. Представлены результаты проведенных экспериментальных испытаний условий электробезопасности и электромагнитно-го влияния. Выявлены задачи, требующие рассмотрения, без решения которых широкое внедрение системы с опорами без заземления на рельсовую сеть невозможно. Рассмотрены два возможных направления, позволяющие исключить проблемные моменты при эксплуатации системы тягового электроснабжения переменного тока.

Ключевые слова: система тягового электроснабжения переменного тока, заземление, опора без заземления на рельсовую сеть, релейная защита, электробезопасность, электромагнитное влияние, релейная защита, железобетонный фундамент

CHALLENGES AND SOLUTIONS TO INTEGRATION OF AC TRACTION POWER SUPPLY SYSTEMS WITH UNGROUNDED CONTACT LINE SUPPORTS

I.A. Kremlyov, I.A. Teryokhin, R.B. Skokov, E.G. Abishov

The article presents the main requirements to the grounding of the AC traction power supply system. The faults in conventional grounding systems for contact line supports over the rail network have been revealed. The results of the field tests relating electric safety and electromagnetic influence have been presented. The focus is made on the issues critical in integration of the system of ungrounded contact line supports over the rail network. Particular consideration is devoted to the two trends which ensure excluding the challenges arising in the operation of the AC traction power supply system.

Keywords: AC traction power supply system, grounding, ungrounded contact line support over the rail network, relay protection, electric safety, electromagnetic influence, reinforced concrete foundation

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И ТВЕРДОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ Х12МФ, ПОДВЕРГНУТОЙ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМУ ЛЕГИРОВАНИЮ ЦИРКОНИЕМ И ЦЕМЕНТАЦИИ В КРЕМНИЙ-ГРАФИТОВОЙ ПАСТЕ

М.Е. Федосеев, А.А. Фомин

Срок службы штампового инструмента зависит от выбранных технологических режимов упрочняющей обработки и достигаемых параметров качества поверхности. В данной работе предлагается новый метод электроискрового легирования цирконием рабочей поверхности штампового инструмента с последующей цементацией слоистой системы «сталь Х12МФ – Zr-покрытие» в кремний-графитовой пасте для получения необходимой твердости и износостойкости. Изучены морфологические характеристики и механические свойства экспериментальных цирконий содержащих покрытий, полученных электроискровым легированием при межэлектродном напряжении 3,2-6,5 В, рабочем токе 1,4-4,1 А и продолжительности обработки 2-4 мин. Установлено, что последующая цементация слоистой системы обработкой токами высокой частоты при температуре 850-900°C и выдержке 100-300 с способствует получению металлокерамического покрытия с высокой микротвердостью 724-946 HV1 при толщине слоя 15-40 мкм.

Ключевые слова: электроискровое легирование, цирконий, инструментальная сталь, упрочненный слой, цементация, токи высокой частоты, кремний-графитовая паста

INVESTIGATION INTO THE MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF H12MF TOOL STEEL SUBJECTED TO ELECTRIC SPARK ALLOYING WITH ZIRCONIUM AND CEMENTATION IN THE SILICON-GRAPHITE PASTE

M.E. Fedoseev, A.A. Fomin

The service life of the die tool depends on the selected technological modes of hardening treatment and the achieved surface quality parameters. In this paper, a new method for electric spark alloying with zirconium of the working surface of a die tool with a subsequent cementation of the layered "steel H12MF – Zr-coating" system in the silicon-graphite paste is

proposed in order to obtain the necessary hardness and wear resistance. Morphological characteristics and mechanical properties of experimental zirconium-containing coatings produced by electric spark alloying at the interelectrode voltage of 3.2-6.5 V, the operating current of 1.4-4.1 A, and the processing time of 2-4 minutes were studied. It was found that subsequent cementation of the layered system by the high-frequency current treatment at the temperature of 850-900°C and exposure of 100-300 s contributed to the production of a metal-ceramic coating with a high microhardness of 724-946 HV1 at the layer thickness of 15-40 µm.

Keywords: electric spark alloying, zirconium, tool steel, hardened layer, cementation, high frequency currents, silicon-graphite paste