

АНОТАЦІЯ

Кондаков А.В. – Технологічне забезпечення керованого формування параметрів поверхневих шарів сталей при електроерозійній обробці дротяним електродом – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 Прикладна механіка – Черкаський державний технологічний університет Міністерства освіти і науки України, Черкаси, 2020.

Застосування інноваційних розробок в технології обробки матеріалів дозволяє розширити використання високоякісних матеріалів високої твердості в машинобудуванні. Під час їх обробки, стандартні способи виробництва поступово витісняються більш прогресивними стратегіями, наприклад, обробка електроерозією, електрохімічна обробка, ультразвукова обробка та лазерна обробка.

Електроерозійна обробка (ЕЕО) включає в себе комплексне залучення численних фізичних явищ. Електричні іскри між катодом та анодом утворюють велику кількість тепла над невеликою ділянкою деталі. Матеріал деталі видаляється завдяки виникненню розплавлення і випаровування, викликаних високою температурою при обваленні каналу плазми розряду. Параметри поверхневих шарів сталевих деталей, технічні та технологічні характеристики процесу, які визначають механізми та результати їх формування потребують подальших комплексних системних досліджень. Розвиток уявлень про формування параметрів поверхневих шарів сталевих деталей при електроерозійній обробці дротяним електродом дозволить підвищити їх експлуатаційні характеристики, за рахунок більш якісного прогнозування та керованого формування заданої мікрогеометрії та фізико-механічних властивостей.

Сукупність представлених у дисертації результатів експериментальних та теоретичних досліджень становить нове вирішення актуальної науково-

технічної задачі підвищення ефективності технологічного забезпечення прогнозування та керованого формування мікрогеометрії та фізико-механічних властивостей поверхневих шарів сталей при електроерозійній обробці дротяним електродом.

У *вступі* наведено загальну характеристику дисертаційних досліджень, їх актуальність, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, предмет та об'єкт дослідження, сформульовано мету та задачі наукового дослідження.

Перший розділ роботи присвячений аналізу стану проблем та факторів, що мають вплив на формування якості поверхонь при електроерозійній обробці дротяним електродом. Проведений детальний аналіз параметрів сучасних генераторів технологічного струму електроерозійних вирізних верстатів та механізми їх впливу на формування одиничної ерозійної лунки, продуктивність процесу різання та якість сформованих поверхонь. Проаналізовано вплив характеристик дротяного електроду-інструменту на процес електроерозійного вирізання. Розглянуто відомі моделі формоутворення поверхні при електроерозійній обробці та особливості формування структури поверхневих шарів.

У *другому розділі* представлено розроблені та підібрані методики та обладнання для реалізації комплексу експериментальних досліджень керованого впливу основних параметрів електроерозійного дротяного вирізання на формування мікрогеометрії, структури та фізико-механічних властивостей поверхневих шарів сталей. Запропоновано та адаптовано оригінальну методику визначення напруг у зоні термічного впливу після електроерозійного дротяного різання у відомих простих технологічних схемах.

Третій розділ присвячений теоретичним та експериментальним дослідженням процесів формування геометрії одиничної ерозійної лунки та мікрогеометрії поверхонь утворених масовою дією розрядів при електроерозійному дротяному вирізанні (ЕЕДВ). Виявлено закономірності

зміни енергоефективності процесу руйнування конструкційної Сталі 45 в обраному діапазоні режимів роботи генератора. Для групи сталей з відомими та достатньо близькими теплофізичними характеристиками (Сталь 45, Сталь 48, 40X, У10, Х12М) отримана система рівнянь, які дозволяють на етапі проектування технологічного процесу електроерозійного дротяного вирізання для відомих енергії розряду, що виділяється на аноді, тривалості розряду та коефіцієнта перекриття лунок розраховувати три базові параметри шорсткості – R_z , R_a , R_q . Отримані закономірності виникнення та впливу вібрацій дротяного електроду-інструменту (ДЕІ) на формування мікрогеометрії оброблених поверхонь. Розроблено математичну статистичну модель для розрахунку впливу вібрацій ДЕІ на мікрогеометрію оброблених поверхонь.

В четвертому розділі наведено результати системного комплексу досліджень по визначенню мікротвердості, структури та товщини зони термічного зміцнення в якісній вуглецевій конструкційній Сталі 45 після ЕЕДВ. Отримані результати забезпечують поповнення бази даних та розширення уявлень про закономірності впливу часово-енергетичних характеристик імпульсів технологічного струму на формування термічно зміцненого шару за ЕЕДВ якісних вуглецевих сталей. Висунуто, обґрунтовано та експериментально підтверджено гіпотезу про те, що при ЕЕДВ якісних вуглецевих сталей за використання розрядних імпульсів струму з енергетичними та часовими параметрами характерними для сучасних електроерозійних вирізних верстатів домінуючий вплив на формування товщини термічно зміцненого шару має тривалість імпульсу струму. Проведена серія чисельних експериментів в цілому підтвердила отримані експериментальні результати, що дозволяє з похибкою, що не перевищує 15% використовувати їх для прогнозування та керування формуванням необхідної за умовами експлуатації товщини термічно зміцненого шару при ЕЕДВ широкої групи конструкційних та інструментальних вуглецевих сталей.

Результати комплексу експериментальних досліджень залишкової напруги в ЗТВ сталі У7А після дротяного електроерозійного різання повного

зйому та додаткових проходів показали, що максимальна напруга розтягу скорочується зі збільшенням кількості додаткових проходів. Для чорнової електроерозії спостерігається релаксація залишкових напружень у часі, що зменшує максимальне залишкове напруження розтягу.

Отримані результати, по суті, відкривають перспективний шлях до мінімізації енергетичних затрат на обробку тієї чи іншої марки сталі та керування характеристиками оброблених поверхонь, як з точки зору формування мікрогеометрії, так і глибини зміни структури в зоні термічного впливу.

Ключові слова: електроерозійна обробка, енергія імпульсу, електроерозійне дротяне вирізання, залишкова напруга, зона термічного впливу, одиничний іскровий розряд, термічно зміцнений шар, мікротвердість.

SUMMARY

Kondakov A.V. – Technological support of the controlled formation of the parameters of surface layers of steels in the electroerosion processing with a wire electrode – Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the Doctor of Philosophy on a specialty 131 Applied mechanics - the Cherkasy State Technological University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Cherkasy, 2020.

Application of innovative developments in technology of processing of materials allows to expand use of high-quality materials of high hardness in mechanical engineering. During their processing, standard production methods are gradually being replaced by more progressive strategies, such as electroerosion treatment, electrochemical treatment, ultrasonic treatment and laser treatment.

Electrical discharge machining (EDM) involves the complex involvement of numerous physical phenomena. Electric sparks between the cathode and the anode generate a large amount of heat over a small area of the part. The material of the part is removed due to the occurrence of melting and evaporation caused by high temperatures during the collapse of the discharge plasma channel. The parameters of the surface layers of steel parts, technical and technological characteristics of the process, which determine the mechanisms and results of their formation require further comprehensive system studies. The development of ideas about the formation of the parameters of the surface layers of steel parts during EDM treatment with a wire electrode will improve their performance, due to better forecasting and controlled formation of the specified micro geometry and physical and mechanical properties.

The set of results of experimental and theoretical researches presented in the dissertation is a new solution of the actual scientific and technical problem of

increase of efficiency of technological maintenance of forecasting and controlled formation of micro geometry and physical and mechanical properties of surface layers of steels at electroerosive processing by a wire electrode.

The introduction presents the general characteristics of dissertation research, their relevance, scientific novelty and practical significance of the results, subject and object of research, formulates the purpose and objectives of research.

The first section is devoted to the analysis of the state of problems and factors that affect the formation of surface quality during EDM treatment with a wire electrode. The detailed analysis of parameters of modern generators of technological current of electroerosive cutting machines and mechanisms of their influence on formation of a single erosion hole, productivity the process of cutting and quality of the formed surfaces is carried out. The influence of the characteristics of the wire electrode-tool on the process of electroerosive cutting is analyzed. The known models of surface formation during electroerosive treatment and features of formation of structure of surface layers are considered.

The second section presents the developed and selected methods and equipment for the implementation of a set of experimental studies of controlled influence of the main parameters of EDM wire cutting on the formation of micro geometry, structure and physical and mechanical properties of surface layers of steels. An original method for determining stresses in the zone of thermal influence after EDM wire cutting in known simple technological schemes is proposed and adapted.

The third section is devoted to theoretical and experimental studies of the processes of formation of the geometry of a single erosion hole and the micro geometry of the surfaces formed by the mass action of discharges in wire electrical discharge machining (EEDV). Regularities of change of energy efficiency of the process of destruction of structural steel 45 in the selected range of modes of operation of the generator are revealed. For a group of steels with known and

sufficiently similar thermophysical characteristics (Steel 45, Steel 48, 40X, U10, X12M) a system of equations is obtained, which allows at the stage of designing the technological process of EDM for known discharge energy released at the anode, discharge duration and the coefficient of overlap of the holes to calculate the three basic parameters of roughness – R_z , R_a , R_q . The regularities of the occurrence and influence of vibrations of the wire tool electrode (DEI) on the formation of the micro geometry of the treated surfaces are obtained. A mathematical statistical model for calculating the effect of DEI vibrations on the micro geometry of treated surfaces has been developed.

The fourth section presents the results of a systematic set of studies to determine the microhardness, structure and thickness of the thermal hardening zone in high-quality carbon structural Steel 45 after EEDV. The obtained results provide replenishment of the database and expansion of ideas about the patterns of influence of time-energy characteristics of process current pulses on the formation of a thermally strengthened layer by EEDV of high-quality carbon steels. The hypothesis that the EEDV of high-quality carbon steels with the use of discharge current pulses with energy and time parameters characteristic of modern EDM cutting machines has a dominant influence on the formation of the thickness of the thermally hardened layer has been put forward, substantiated and experimentally confirmed. The conducted series of numerical experiments, in general, confirmed the obtained experimental results, which allows with an error not exceeding 15% to use them to predict and control the formation of the required operating conditions of the thickness of the thermally strengthened layer at EEDV of a wide group of structural and tool carbon steels.

The results of a set of experimental studies of residual stress in HAZ steel U7A after wire EDM cutting of complete removal and additional passes showed that the maximum tensile stress decreases with increasing number of additional passes. For rough electroerosion, there is a relaxation of residual stresses over time, which reduces the maximum residual tensile stress.

The obtained results, in fact, open a promising way to minimize energy costs for processing a grade of steel and control the characteristics of treated surfaces, both in terms of micro geometry formation and the depth of structure change in the thermal zone.

Key words: *electroerosive treatment, pulse energy, electroerosive wire cutting, residual stress, thermal impact zone, single spark discharge, thermally hardened layer, microhardness.*