

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Ал Аббасі Жаббар

УДК 620.179.14

ДИСЕРТАЦІЯ
РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО МЕТОДУ ТА ПРИСТРОЮ ДЛЯ
РОЗБРАКОВКИ МЕТАЛЕВИХ ПЛАСТИН

152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

15 – автоматизація та приладобудування

Подається на здобуття наукового ступеня доктор філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 Ал Аббасі Жаббар

Науковий керівник:

Горкунов Борис Митрофанович,
доктор технічних наук, професор

Харків –2020

АНОТАЦІЯ

Ал Аббасі Жаббар. Розробка електромагнітного методу та пристрою для розбраковки металевих пластин. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 – метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка (15 – автоматизація та приладобудування). Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" Міністерства освіти і науки України, Харків, 2020.

Об'єктом дослідження є процес безконтактного електромагнітного контролю якості металевих пластин.

Предметом дослідження є методи та пристрої забезпечення чутливості електромагнітних перетворювачів при розбракуванні металевих пластин однієї марки сталі.

У дисертаційній роботі вирішена науково-практична задача підвищення чутливості електромагнітних перетворювачів при розбракуванні металевих пластин однієї марки сталі з близькими електрофізичними властивостями.

Дослідження здійснене за допомогою як класичних, так і нових сучасних методів вирішення прикладної задачі теорії електромагнітного поля, диференційних та резонансних методів вимірювань, теорії ймовірності випадкових процесів, інформаційної теорії контролю.

У вступі обґрунтовано актуальність задач дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, наведена наукова новизна та сформульоване практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі виконано огляд та проведено аналіз питань контролю та діагностування структури металевих виробів. З відомих розглянутих методів контролю структури виробів, обрано електромагнітний метод контролю та діагностування як найбільш задовольняючий поставленій

задачі. Відмічена його особливість, загальні технічні характеристики, область використання. Виконано огляд існуючих приладів електромагнітного контролю та діагностування структурного стану металевих виробів, проаналізовані їх технічні характеристики. Висвітлені позитивні і негативні аспекти з апаратного, алгоритмічного і програмного забезпечення існуючих приладів контролю структури промислових металевих об'єктів. Обґрунтовано напрями досліджень, поставлені основні задачі дисертаційної роботи.

У другому розділі досліджені теоретичні питання розподілу змінного електромагнітного поля у феромагнітній пластині. Отримані вирази, що описують поведінку амплітуди і фази магнітного потоку в плоскій металевій пластині, які покладені в основу розробки і реалізації електромагнітних методів і пристроїв для безконтактного контролю магнітних і електричних параметрів плоских металевих виробів, тобто при рішенні зворотної задачі, запропоновано використання диференційного трансформаторного електромагнітного перетворювача для розбракування матеріалу плоских металевих виробів, показано, що кожному значенню заданої максимальної похибки відповідає певна робоча ділянка залежностей універсальних функцій перетворення в околицях вибраної точки.

Результати досліджень дозволили отримати ряд наукових результатів:

– запропоновано подальший розвиток методу рішення зворотної задачі для електромагнітного перетворювача з плоским металевим виробом, отримано вирази нормованої амплітуди магнітного потоку і його фази, які є універсальними функціональними залежностями, що однозначно пов'язують сигнали електромагнітного перетворювача з узагальненим параметром, величина якого залежить від електричних, магнітних параметрів і товщини пластини та частоти зондуючого магнітного поля;

– розроблено метод і пристрій на основі диференційного трансформаторного електромагнітного перетворювача для розбракування за електромагнітними параметрами матеріалу плоских металевих виробів

навіть у тому випадку, коли електромагнітні параметри досліджуваного і стандартного зразків не сильно відрізняються між собою, що дозволяє, за певних умов, разом з підвищенням роздільної здатності (точності) істотно спростити процедури, як вимірювальних, так і розрахункових операцій. Отримані співвідношення дозволяють визначати величину зміни значення магнітного і електричного параметрів металевого плоского виробу за вимірними електричними параметрами вихідного сигналу перетворювача з врахуванням вибраного режиму роботи;

– показано, що кожному значенню заданої максимальної похибки контролю відповідає певна робоча ділянка залежностей універсальних функцій перетворення в околицях вибраної робочої точки диференційного трансформаторного електромагнітного перетворювача.

У третьому розділі представлені дослідження з використання параметричних електромагнітних перетворювачів для безконтактного розбраковування металевих пластин однієї марки сталі за їх електромагнітними характеристиками. Запропоновано параметричний електромагнітний перетворювач для контролю електромагнітних параметрів пластин на основі використання моста змінного струму в неврівноваженому режимі роботи. Сформульована загальна задача функціонального використання резонансної схеми включення параметричних електромагнітних перетворювачів накладного типу для розбраковування металевих пластин. Розроблено мультирезонансні методи електромагнітного контролю і пристрій, що його реалізує, який дозволяє збільшити чутливість перетворювача до зміни електромагнітних параметрів досліджуваних феромагнітних пластин в два рази і в першому наближенні, виключити вплив зміни температури і зазору між первинним перетворювачем і поверхнею досліджуваного плоского виробу.

Дослідження даного розділу дозволили одержати наступні результати:

– запропоновано метод включення прохідного параметричного електромагнітного перетворювача в схему моста змінного струму, що працює

в неврівноваженому режимі поблизу точки рівноваги, отримано вирази для визначення амплітуди і фази напруги в діагоналі моста, коли електромагнітні параметри досліджуваного зразка відрізняються від параметрів стандартного зразка та визначені чутливості перетворювача;

– запропоновано однопараметровий метод виділення корисної інформації, коли котушка параметричного перетворювача включена в схему автогенератора, вихідна частота якого залежить від структурних відмінностей об'єктів контролю;

– запропоновано метод і пристрій з двома автогенераторними перетворювачами, що дозволяє збільшити чутливість в два рази і, в першому наближенні, виключити вплив повітряного зазору між датчиком і контрольованим виробом, отримано співвідношення та оцінена методична похибка, викликана нелінійністю функції залежно від величини зміни зазору;

– розроблено мультирезонансний метод електромагнітного контролю і пристрій, що його реалізує, який дозволяє збільшити чутливість перетворювача до зміни електромагнітних параметрів досліджуваних феромагнітних пластин в два рази і при цьому, в першому наближенні, виключити вплив зміни температури та зазору між первинним перетворювачем і поверхнею досліджуваного плоского виробу;

Четвертий розділ присвячений розробці електромагнітних перетворювачів прохідного і накладного типів з підвищеною чутливістю, як з феритовим осердям, так і без нього. Проведені експерименти, після обробки результатів показали, що на гістограмі вихідної напруги датчика чітко видно відмінність між характеристиками прокату однієї марки сталі двома заводами виробниками. Запропонований в роботі автоматизований пристрій, що реалізує мультирезонансний метод розбракування металевих пластин з близькими електромагнітними характеристиками, дозволяє істотно зменшити, як вплив зазору між перетворювачем і досліджуваним виробом, так і вплив температури довкілля на точність контролю. Для перевірки достовірності отримуваних результатів в роботі були проведені багатократні

виміри коерцитивної сили в окремо вибраних контрольних точках для тих же зразків металевих пластин.

За дослідженнями даного розділу отримані наступні результати:

– розроблена функціональна схема експериментального лабораторного макету з диференціальним трансформаторним електромагнітним перетворювачем прохідного і накладного типів з підвищеною чутливістю, як з феритовим осердям, так і без нього;

– проведено експериментальні дослідження з розбраковки феромагнітних зразків з використанням параметричного перетворювача, включеного в схему моста змінного струму;

– запропонована конструкція первинного перетворювача, який дозволяє істотно понизити вплив зазору між перетворювачем і досліджуваним виробом, а також понизити вплив температури довкілля на точність контролю.

– на базі мікроконтролера створено автоматизований пристрій, що реалізовує мультирезонансний метод розбраковування тонколистових феромагнітних виробів;

– достовірність отриманих результатів оцінена при проведенні багатократних вимірів коерцитивної сили в окремо вибраних контрольних точках для двох різних партій сталевого прокату та визначено середньоквадратичне відхилення значень коерцитивної сили, що характеризує міру неоднорідності структури в партії;

– розроблено та запатентовано первинний перетворювач, який дозволяє істотно понизити вплив зазору між перетворювачем і досліджуваним виробом, а також понизити вплив температури довкілля на точність контролю.

Ключові слова: контроль, діагностування, електромагнітний метод, автогенератор, трансформаторний та, параметричний електромагнітний перетворювач, вірогідність, відносна магнітна проникність, питома електропровідність, коерцитивна сила.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. Горкунов Б.М., Сіренко М.М., Львов С.Г., Аббасі Жаббар. Побудова автоматизованих пристроїв безконтактного контролю діаметра каліброваних немагнітних прутків. *Метрологія та прилади*. 2017. № 2(64). С. 53–57.

2. Горкунов Б.М., Сиренко Н.Н., Львов С.Г., Тищенко А.А., Аббаси Жаббар. Вихретоковый переменнo-частотный метод определения механических напряжений. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. 2017. №25(101). С.446–451.

3. Горкунов Б.М., Львов С.Г., Тищенко А.А., Аббаси Жаббар. Экспериментальные исследования механических свойств металлических изделий бесконтактным методом. *Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми автоматизованого електроприводу. Силова електроніка та енергоефективність*. Харків, 2017. №27 (1249). С. 432–435.

4. Gorkunov B., Tyshchenko A., Bogomaz O., Lvov S., Abbasi Jabbar. Sorting thin-wall sheets of the same steel grade various manufacturers. *The scientific heritage*. Budapest, 2019. N 42, P.1. PP. 58–63.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

5. Горкунов Б.М., Львов С.Г., Сиренко Н.Н., Аббаси Жаббар. Вихретоковый контроль фізико-механических параметров цилиндрических изделий при их механическом нагружении. *Приладобудування: стан і перспективи*: зб. тез доп. XVI Міжнар. наук.-техн. конф. Київ, 2017. С.128.

6. Горкунов Б.М., Львов С.Г., Тищенко А.А., Аббаси Жаббар. Разбраковка металлических пластин с помощью накладного вихретокового преобразователя. *Актуальні проблеми автоматики та приладобудування: матеріали I міжнар. наук.-техн. конф.* Харків, 2017. С.145–146.

7. Горкунов Б.М., Львов С.Г., Гладченко Д.В., Аббаси Жаббар. Нормализация структуры магнитных образцов при их исследовании. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія освіти, здоров'я: тези доп. XXVI міжнар. наук.-практ. конф. Харків, 2018. Ч.ІІ. С.17.*

8. Горкунов Б.М., Львов С.Г., Гладченко Д.В., Аббаси Жаббар. Повышение надежности бесконтактной разбраковки стальных прутков по их электромагнитным параметрам. *Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика: зб. наук. праць XVIII міжнар. наук.-техн. конф. Кременчук, 2018. Вип.5/2018. С.52–55.*

9. Borys Gorkunov, Anna Tyshchenko, Sergey Lvov, Abbasi Jabbar. Research of the electromagnetic method for the control rolled steel of the same grade of various manufacturer. *IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems: Kharkiv, 2018. PP. 367–370.*

10. Горкунов Б.М., Львов С.Г., Логачова М.А., Ефимцева О.С., Аббаси Жаббар. Исследование электромагнитного преобразователя при двухпараметровом контроле немагнитных изделий. *Актуальні проблеми автоматики та приладобудування: матеріали II міжнар. наук.-техн. конф. Харків, 2018. С.171–172.*

11. Горкунов Б.М., Львов С.Г., Кальченко О.О., Аббасі Жаббар. Вихрострумовий контроль якості точкового зварювання. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія освіти, здоров'я: тези доп. XXVII міжнар. наук.-практ. конф. Харків, 2019. Ч.ІІ – С.17.*

12. Gorkunov B., Lvov S., Tyshchenko A., Abbasi Jabbar, Saliba Abdel Nour. Method and device for sorting thin-walled sheets of the same steel grade. *2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS): Istanbul, 2020. PP. 259–262.*

Опубліковані праці які додатково відображають наукові результати дисертації:

13. Пат. на корисну модель 144529, Україна, МПК G01N27/90 (2006.01). Прилад для контролю та розбракування листових металевих виробів / Горкунов Б.М., Львов С.Г., Тищенко А.А., Аббасі Жаббар; власник НТУ «ХП». № u 2020 01936; заяв. 19.03.20; опубл. 12.10.2020, Бюл. №19.

SUMMARY

Al Abbasi Jabbar. Development of an electromagnetic method and a device for sorting metal plates. –Manuscript.

The dissertation on a claim of a scientific degree of the doctor of philosophy in a specialty 152 – metrology and information-measuring technique (15 – automation and instrumentation). National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2020.

The object of the research is the process of non-contact electromagnetic quality assessment of metal plates.

The subject of the research are methods and devices for providing the sensitivity of electromagnetic transducers while sorting metal plates of the same grade of steel.

In the dissertation work the scientific and practical problem of increase of sensitivity of electromagnetic transducers at sorting metal plates of the same grade of steel with close electrophysical properties is solved.

The research was carried out with the help of both classical and innovation methods of solving the applied problem of electromagnetic field theory, differential and resonant measurement methods, the theory of probability of random processes, information theory of testing.

The introduction substantiate the urgency of research tasks, shows the link of work with scientific programs, plans and themes, formulate the scientific novelty is resulted and the practical value of the received results..

The first chapter contains an overview and analysis of issues of the metal products structure testing and diagnosis. From the known methods of products structure testing, the electromagnetic method is chosen as corresponding to the task the most. Its distinctive feature, general technical characteristics, area of use are noted. The review of existing devices of electromagnetic testing and diagnostics of a structural condition of metal products is made, their technical characteristics are analyzed. The positive and negative aspects of the hardware,

algorithmic and software of the existing devices for monitoring the structure of industrial metal objects are highlighted. The areas of research are substantiated, the main tasks of the dissertation work are set.

The second chapter is devoted to the theoretical aspects of distribution of an alternating electromagnetic field in a ferromagnetic plate. The expressions describing the behavior of the amplitude and phase of the magnetic flux in a flat metal plate, which are the basis for the development and implementation of electromagnetic methods and devices for non-contact monitoring of magnetic and electrical parameters of flat metal products were obtained. Namely, when solving the inverse problem, the use of a differential transformer electromagnetic transducer for sorting the material of flat metal products is proposed. It is shown that each value of a given maximum error corresponds to a certain working area of universal transformation functions in the vicinity of the selected point.

The research results allowed to obtain a number of scientific results:

- further development of the method for solving the inverse problem for an electromagnetic transducer with a flat metal product is proposed, formulas for the normalized amplitude and phase of the magnetic flux are obtained, which are universal functions that uniquely link the signals of the electromagnetic transducer parameters and thickness of the plate and the frequency of the exciting magnetic field;

- a method and device based on a differential transformer electromagnetic transducer has been developed for sorting flat metal products from the electromagnetic parameters of the material even in the case when the electromagnetic parameters of the test and standard samples do not differ much from each other, which allows, under certain conditions, together with an increase in resolution (accuracy) significantly simplifies the procedures of both measuring and calculation. The obtained formulas make it possible to determine the magnitude of change of the magnetic and electrical parameters of a metal flat product from the measured electrical parameters of the output signal of the transducer, taking into account the selected operating mode;

– it is shown that each value of the set maximum monitoring error corresponds to a certain operating area of the universal conversion functions in the vicinity of the selected operating point of the differential transformer electromagnetic transducer.

The third chapter contains research on the use of parametric electromagnetic transducers for non-contact sorting of metal plates of the same steel grade according to their electromagnetic parameters. A parametric electromagnetic transducer for monitoring the electromagnetic parameters of the plates based on the use of an AC bridge in the unbalanced mode of operation is proposed. The general problem of applying the resonant scheme for parametric electromagnetic surface mount transducers for sorting metal plates is formulated. Multi-resonant methods of electromagnetic testing and the device implementing it are developed, which allows to increase the sensitivity of the transducer to changes in the electromagnetic parameters of the tested ferromagnetic plates twice and in the first approximation, to exclude the effect of temperature and gap between the primary transducer and the surface of the tested flat product.

The research results of this chapter are following:

– the method of connection of the sliding parametric electromagnetic transducer to the AC bridge circuit operating in unbalanced mode near the equilibrium point is proposed, formulas for determining voltage amplitude and phase in the diagonal of the bridge when electromagnetic parameters of the standard and test samples have close values are derived, transducer's sensitivity is determined;

– a one-parameter method of extracting useful information is proposed, when the coil of the parametric transducer is connected to the circuit of the autogenerator, the output frequency of which depends on the structural differences of the objects of testing;

– a method and a device with two autogenerator transducers are proposed, which allows to double the sensitivity and, in the first approximation, to exclude the influence of the air gap between the sensor and the tested product, the formula

is obtained and the methodological error caused by the nonlinearity of the function is calculated;

- a multiresonance method of electromagnetic testing and a device that implements it is developed, which increases the sensitivity of the transducer to changes in the electromagnetic parameters of the studied ferromagnetic plates twice and, in the first approximation, excludes the effect of temperature and gap between the primary transducer and the surface of the tested flat product;

The fourth chapter is devoted to the development of electromagnetic transducers of sliding and surface mount types with high sensitivity, both with ferrite core and without it. The experiments, after processing the results showed that the histogram of the output voltage of the sensor clearly shows the difference between the characteristics of the rolls of one grade of steel from two manufacturers. The proposed automated device that implements a multi-resonant method of sorting metal plates with similar electromagnetic parameters, significantly reduce the effect of the gap between the transducer and the test product, also reduces the effect of ambient temperature on the accuracy of monitoring. To verify the reliability of the results obtained repeated measurements of the coercive force at separately selected control points for the same samples of metal plates were carried out.

The research results of this chapter are following:

- the functional scheme of the experimental laboratory setup with the differential transformer electromagnetic transducer of sliding and surface mount types with the increased sensitivity, both with and without ferrite core has been developed;

- experimental studies on sorting ferromagnetic samples using a parametric transducer iconnected to the AC bridge circuit;

- the design of the primary transducer is proposed, which can significantly reduce the effect of the gap between the transducer and the test product, as well as reduce the effect of ambient temperature on the accuracy of monitoring.

– on the basis of the microcontroller the automated device realizing a multi-resonance method for sorting thin-sheet ferromagnetic products is created;

– the reliability of the obtained results is evaluated by repeated measurements of coercive force in separately selected control points for two different batches of rolled steel and the standard deviation of the values of coercive force is calculated, which characterizes the degree of heterogeneity of the structure in the batch;

– a primary transducer is developed and patented, which can significantly reduce the impact of the gap between the transducer and the test product, also the impact of ambient temperature on the accuracy of monitoring is decreased.

Keywords: monitoring, diagnostics, electromagnetic method, autogenerator, transformer and parametric electromagnetic transducer, probability, relative magnetic permeability, specific electrical conductivity, coercive force.

LIST OF PUBLICATIONS ON THE SUBJECT OF THE DISSERTATION

Scientific papers, in which the main scientific results of the dissertation are published:

1. Gorkunov B.M., Sirenko M.M., Lvov S.G., Abbasi Jabbar. Pobudova avtomatizovanih pristroy bezkontaktnogo kontrolju diametra kalibrovanih nemagnitnih prutkiv. *Metrologija ta priladi*. 2017. № 2(64). S. 53–57.

2. Gorkunov B.M., Sirenko N.N., Lvov S.G., Tishhenko A.A., Abbasi Jabbar. Vihretokovyj peremennno-chastotnyj metod opredelenija mehanicheskikh napryazhenij. *Elektrotehnichni ta komp'juterni sistemi*. 2017. №25(101). S.446–451.

3. Gorkunov B.M., Lvov S.G., Tishhenko A.A., Abbasi Jabbar. Jeksperimentalnye issledovanija mehanicheskikh svojstv metallicheskih izdelij beskontaktnym metodom. *Visnik NTU "HPI". Serija: Problemi avtomatizovanogo elektroprivodu. Silova elektronika ta energoefektivnist*. Harkiv, 2017. №27 (1249). S. 432–435.

4. Gorkunov B., Tyshchenko A., Bogomaz O., Lvov S., Abbasi Jabbar. Sorting thin-wall sheets of the same steel grade various manufacturers. *The scientific heritage*. Budapest, 2019. N 42, P.1. PP. 58–63.

Published works of approbatory character:

5. Gorkunov B.M., Lvov S.G., Sirenko N.N., Abbasi Jabbar. Vihretokovyj kontrol fiziko-mehanicheskikh parametrov cilindricheskikh izdelij pri ih mehanicheskom nagruzenii. *Priladobuduvannja: stan i perspektivi*: zb. tez dop. XVI mizhnar. nauk.-tehn. konf. Kiïv, 2017. S.128.

6. Gorkunov B.M., Lvov S.G., Tishhenko A.A., Abbasi Zhabbar. Razbrakovka metallicheskih plastin s pomoshh'ju nakladnogo vihretokovogo preobrazovatelja. *Aktualni problemi avtomatiki ta priladobuduvannja*: materiali I mizhnar. nauk.-tehn. konf. Harkiv, 2017. S.145–146.

7. Gorkunov B.M., Lvov S.G., Gladchenko D.V., Abbasi Zhabbar. Normalizacija struktury magnitnyh obrazcov pri ih issledovanii. *Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija osvita, zdorov'ja*: tezi dop. XXVI mizhnar. nauk.-prakt. konf. Harkiv, 2018. Ch.II. S.17.

8. Gorkunov B.M., Lvov S.G., Gladchenko D.V., Abbasi Zhabbar. Povyshenie nadezhnosti beskontaktnoj razbrakovki stalnyh prutkov po ih jelektromagnitnym parametram. *Problemi energoresursozberzhennja v elektrotehnichnih sistemah. Nauka, osvita i praktika*: zb. nauk. prac XVIII mizhnar. nauk.-tehn. konf. Kremenčuk, 2018. V.5/2018. S.52–55.

9. Borys Gorkunov, Anna Tyshchenko, Sergey Lvov, Abbasi Jabbar. Research of the electromagnetic method for the control rolled steel of the same grade of various manufacturer. *IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems*: Kharkiv, 2018. PP. 367–370.

10. Gorkunov B.M., Lvov S.G., Logachova M.A., Efimceva O.S., Abbasi Zhabbar. Issledovanie jelektromagnitnogo preobrazovatelja pri dvuhparametrovom kontrole nemagnitnyh izdelij. *Aktualni problemi avtomatiki ta priladobuduvannja*: materiali II mizhnar. nauk.-tehn. konf. Harkiv, 2018. S.171–172.

11. Gorkunov B.M., Lvov S.G., Kalchenko O.O., Abbasi Zhabbar. Vihrostrumovij kontrol jakosti tochkovogo zvarjuvanja. *Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija osvita, zdorovja: tezi dop. XXVII mizhnar. nauk.-prakt. konf. Harkiv, 2019. Ch.II. S.17.*

12. Gorkunov B., Lvov S., Tyshchenko A., Abbasi Jabbar, Saliba Abdel Nour. Method and device for sorting thin-walled sheets of the same steel grade. *2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS): Istanbul, 2020. PP. 259–262.*

Published works that additionally reflect the scientific results of the dissertation:

Pat. na korisnu model 144529, Ukraina, MPK G01N27/90 (2006.01). Prilad dlja kontrolju ta rozbrakuvannja listovih metalevih virobiv / Gorkunov B.M., Lvov S.G., Tishhenko A.A., Abbasi Zhabbar; vlasnik NTU «KhPI». № u 2020 01936; zajav. 19.03.20; opubl. 12.10.2020, Bjul. №19.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І ПРИСТРОЇВ КОНТРОЛЮ СТРУКТУРИ МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	11
1.1. Існуючі неруйнівні методи і пристрої контролю структури металевих виробів	11
1.2. Переваги електромагнітного методу контролю структури металевих виробів	21
1.3. Існуючі пристрої для контролю електрофізичних параметрів циліндричних і плоских металевих виробів	25
1.4. Вибір напрямку і основні завдання дослідження дисертаційної роботи.....	31
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МЕТОДІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СТРУКТУРОСКОПІЇ ПЛОСКИХ МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ ПРОХІДНИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ	33
2.1. Теоретичні питання розподілу змінного електромагнітного поля у феромагнітній пластині.....	33
2.2. Реалізація електромагнітного методу контролю електромагнітних характеристик плоских металевих виробів на основі трансформаторного перетворювача.....	40
2.3. Розробка диференціального трансформаторного електромагнітного перетворювача для розбраковування матеріалу плоских металевих виробів	47
2.4. Висновки по другому розділу.....	56
РОЗДІЛ 3 РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ МЕТОДІВ І ПРИСТРОЇВ ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОЇ РОЗБРАКОВКИ МЕТАЛЕВИХ ПЛАСТИН ОДНІЄЇ МАРКИ СТАЛІ.....	59

3.1. Параметричний перетворювач для контролю електромагнітних параметрів пластин на основі використання моста змінного струму в неврівноваженому режимі роботи	59
3.2. Резонансні схеми включення параметричних електромагнітних перетворювачів накладного типу для розбракування металевих пластин.....	70
3.3. Мультирезонансні методи розбракування металевих пластин з близькими електрофізичними властивостями	82
3.4. Висновки за третім розділом	91
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО РОЗБРАКУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ ПЛАСТИН ОДНІЄЇ МАРКИ СТАЛІ.....	93
4.1. Розробка експериментального лабораторного макету з диференціальними трансформаторними і параметричними електромагнітними перетворювачами.....	93
4.2. Розробка автоматизованого мультирезонансного пристрою для розбракування металевих пластин з близькими електромагнітними характеристиками	101
4.3. Розбракування за величиною коерцитивної сили тонкостінних сталевих листів однієї марки різних заводів виробників	105
4.4. Висновки за четвертим розділом	113
ВИСНОВКИ.....	116
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	118
ДОДАТКИ.....	136