

УДК 620.179.16

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.123>

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАПЛАВКОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ БЫСТРОИЗНАШИВАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ ЧЕРПАКОВОЙ ЦЕПИ С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКА

Е.К. Березин

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

В.М. Родюшкин

*Институт проблем машиностроения РАН - филиал Федерального исследовательско-
го центра Институт прикладной физики Российской академии наук",
г. Нижний Новгород, Россия*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3081-0288>

Аннотация. На примере пальцев черпаковой цепи предложена методика интегральной оценки качества восстановления деталей с помощью упругих волн - ультразвука. Целью работы является обеспечение оперативности измерений при оценке качества восстановленных деталей в условиях ремонтной базы. Для этого использованы данные об ослаблении упругих волн при прохождении их через восстановленную деталь. В отличие от прецизионных измерений скорости упругих волн, измерение ослабления ультразвука не требует лабораторного оборудования, достаточно обычного промышленного дефектоскопа. Для оценки качества изделия преобразователь поочередно устанавливался в определенных по длине пальца точках, зондирующий луч направлялся по диаметру и фиксировался первый отраженный от противоположной стороны пальца импульс упругих колебания и второй, прошедший дополнительно два диаметра пальца. Найден количественный показатель, позволяющий оценить качество восстановления детали. Предлагаемая методика в определенной мере решает проблему интегральной оценки состояния восстановленного пальца черпаковой цепи. Для предотвращения преждевременного выхода из строя восстановленных наплавкой порошковой проволокой деталей, достаточно внедрить в практику необременительную процедуру контроля ослабления звука.

Ключевые слова: палец черпаковой цепи, наплавка порошковой проволокой, ослабление ультразвука, дефектоскоп

Введение

Основной причиной выхода из строя восстановленных наплавкой порошковой проволокой деталей является недостаточное качество сцепления между поверхностью основного металла с наносимым покрытием. Однако на качество восстановления детали влияет не только прочность сцепления, но и качество материала покрытия, состояние основного металла. Прочность сцепления покрытий и основного металла оценивается во многих работах [1,2]. На практике не менее важно оценить интегральное состояние восстановленного пальца черпаковой цепи, то есть наряду с качеством сцепления, следует оценивать качество самого металла [3-5] и наплавки. Исследования прочности сцепления покрытия с основным металлом носят академический интерес, ограничиваясь лабораторными образцами. В то же время на практике при ремонте деталей существует реальная потребность оперативного контроля качества восстановленных деталей.

Материалы и методы

Для решения поставленной задачи безусловный приоритет принадлежит методам контроля с помощью ультразвука [6-9]. В работе на примере пальцев черпаковой цепи предлагается методика интегральной оценки качества восстановления деталей с помощью упругих волн - ультразвука. Методика апробирована в условиях Учебно-научно-производственного центра «Судоремонт».

Для обеспечения оперативности измерений при оценке качества восстановленных деталей в условиях ремонтной базы логично воспользоваться измерением ослабления упругих волн при прохождении их через восстановленную деталь, так как состояние металла влияет на ослабление ультразвука [10-13]. В отличие от прецизионных измерений [14,15], измерение ослабления ультразвука не требует лабораторного оборудования и производится стандартным промышленным дефектоскопом. Погрешность при измерениях ослабления составляет величину порядка 10%. Обусловлено это тем, что оперативному ультразвуковому контролю в условиях производства сопутствуют различия в установке датчиков и условий контакта датчика с поверхностью детали (контактная жидкость, шероховатость поверхности и т.д.).

Идея оценки качества восстановления наплавкой порошковой проволокой быстрознашивающихся деталей черпаковой цепи с помощью ультразвука была апробирована на тестовом примере из десяти восстановленных пальцев (рис.1) черпаковой цепи.



Рис. 1. Восстановленные пальцы черпаковой цепи.

Ослабление упругих волн с расстоянием оценивается формулой:

$$A_1 = A_0 \exp(-\delta x) \sin(2\pi ft - kx)$$

где A_0 - амплитуда колебаний частиц у источника; δ - пространственный амплитудный коэффициент затухания, f - частота упругой волны, t - время, k - волновое число, равное $2\pi f / c$, (здесь c - скорость волны, x - координата распространения волны).

По измерению амплитуды колебаний (A_1 и A_2) при двух положениях приемника (x_1 и x_2) можно определить затухание, используя логарифмическую единицу - децибел (дБ): Δ (дБ) = $20 \lg(A_2 / A_1) = -8,68 * \delta * (x_2 - x_1)$. Вычислив $(x_2 - x_1)$, и измерив Δ (дБ) получим затухание в [дБ/м].

В работе использован промышленный дефектоскоп УД2-70 и пьезоэлектрический преобразователь на частоту 1,25 МГц (ПЭП), что позволяло в технологическом плане проводить измерения в условиях ремонтной базы. Технология оценки качества изде-

лия заключается в следующем: ПЭП поочередно устанавливается в определенных по длине пальца точках. Измеряются первый и второй отраженные от противоположной стороны пальца импульсы упругих колебаний. Результат: среднее значение Δ (дБ) оценивался по 6 наблюдениям соотношений импульсов. В отсутствие наплавки затухание определяется как: Δ (дБ) = $-8,68 (-\delta \Delta x_2 - \delta \Delta x_2)$. Это количественный показатель ослабления, вызванной процессом распространения упругой волны в материале.

Результаты

Данные, в относительных единицах $\frac{\Delta - \Delta_{\text{сред}}}{\Delta_{\text{сред}}}$, полученные на изношенных пальцах на первом этапе измерений приведены на рис.2. Здесь $\Delta_{\text{сред}}$ – среднее значение для всего тестового набора изделия. Считая погрешность измерения порядка 10 %, из рис.2 следует, что основной металл пальцев №№1,4,7,8 поврежден более остальных, но в процентном отношении отклонения составили менее 25%, что соответствует режиму надежной эксплуатации и данный экземпляр изделия подлежит восстановлению [4].

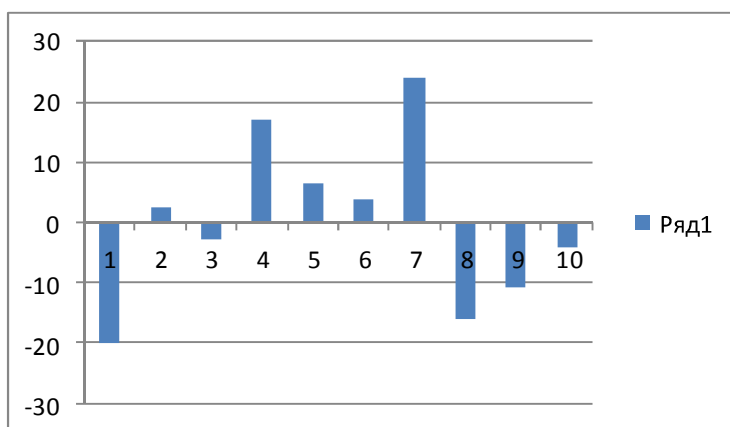


Рис.2. Данные, полученные на первом этапе контроля в дБ (вертикальная ось)
 Горизонтальная ось –порядковый номер пальца.

На втором этапе измерений оценивается качество наплавки и адгезии её к основному металлу по разнице ослабления ультразвука, измеренного на первом (не восстановленный палец) и втором (восстановленный палец).

Рассмотрим ход зондирующего луча, схематично представленный на рис. 3.

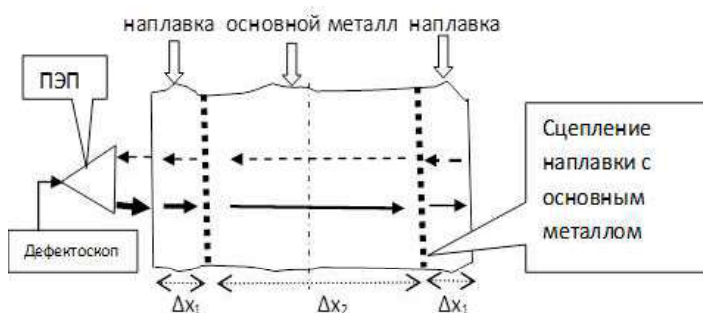


Рис.3. Условный ход ультразвукового луча в восстановленном пальце.

При прохождении упругой волной многослойной среды, какой является восстановленный палец, ослабление интенсивности колебаний будет обусловлено состоянием основного металла, ослаблением в наплавке, потерями в переходном слое. В слое эффект обусловлен как прочностью сцепления наплавки с основой, так и разностью акустических сопротивлений наплавляемого металла и металла основы. Уровень второго отраженного импульса относительно первого будет определяться сомножителями: $\exp(-\delta \Delta x_1) * \{1-R\}^2 * \exp(-\delta \Delta x_2) * \{1-R\}^2 * \exp(-\delta \Delta x_1) * \exp(-\delta \Delta x_1) * \{1-R\}^2 * \exp(-\delta \Delta x_2) * \{1-R\}^2 * \exp(-\delta \Delta x_1)$, что отражается на показаниях дефектоскопа как сумма слагаемых: $\Delta_{\text{восстановленные}}(\text{дБ}) = -8,68 (-\delta \Delta x_1 - \delta \Delta x_2 - \delta \Delta x_1 - \delta \Delta x_1 - \delta \Delta x_2 - \delta \Delta x_1) + 4 * \log\{1-R\}^2$.

Выделенные сомножители относятся к ослаблению ультразвука в основном металле, которое на первом этапе уже определено. При некачественном сцеплении на ослабление существенное влияние оказывает площадь расслоения - S, то есть площадь, где между слоями нет механической связи. Тогда коэффициент отражения от слоя сцепления будет равен [2]: $R = r * (1 - S_1) + S_1$; здесь коэффициент прохождения

$$r = |z_2 - z_1 / z_2 + z_1|^2, \quad z_2, z_1 \text{ - импеданс материала металла и наплавки.}$$

Разность между результатами измерений на втором и первом этапах $\Delta_{\text{восстановленные}}(\text{дБ}) - \Delta(\text{дБ})$ отражает влияние на ослабление амплитуды волны, произошедшее только в наплавке и за счет качества сцепления. На рис.4 приведены полученные результаты.

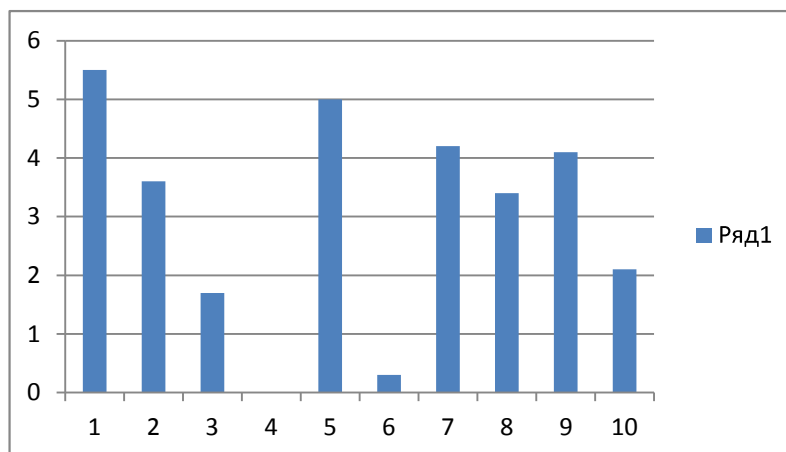


Рис.4. Результаты в дБ (вертикальная ось), обусловленные качеством наплавки и адгезии её к основному металлу. Горизонтальная ось – порядковый номер пальца.

Очевидно, что качество восстановления детали неодинаково. Максимальный вклад в ослабление звука структуры наплавки и адгезии её к основному металлу наблюдаются у №№1,5,7,9. Таким образом, вычленив из результата измерений второго этапа результаты измерения до восстановления пальца, можно оценить качество восстановления детали без учета степени деградации основного металла.

Заключение

Предложенный показатель количественно позволяет оценить качество восстановления детали, что решает в определенной мере проблему интегральной оценки состояния восстановленного пальца черпаковой цепи.

Работа поддержана РФФИ: грант № 19-08-00965-а.

Список литературы:

1. Левин Э.Л., Сайфуллин Р.Н. Оценка прочности сцепления лент с основным металлом при восстановлении деталей электроконтактной приваркой // Упрочняющие технологии и покрытия. 2008. № 10 (46). С. 48-49.
2. Родюшкин В. М., Березин Е.К. Ультразвуковой контроль расслоений шатунного вкладыша дизельных агрегатов Г60//Контроль.Диагностика.2018.№8. с.60-64
DOI: 10.14489/td.2018.08.pp.060-064
- Иляхинский А.В., Родюшкин В.М. О некоторых технологиях ультразвукового контроля технического состояния оборудования//Актуальные проблемы в машиностроении. 2019.Т.6.№1-4.с.60-65
3. Дубровский В.А., Амеличева А.Ю., Потапов А.В., Зезюля В.В., Головачева Ю.Г., Меньшиков В.С. Экспериментальные исследования технологических свойств металлических покрытий цилиндрических образцов после электроконтактной наварки различными проволоками// Сварка и диагностика. 2018. № 1. С. 27-31.
4. Березин Е.К., Родюшкин В.М. Предремонтная диагностика металла пальцев черпаковой цепи с помощью ультразвука // Контроль.Диагностика.2019.№12.с.48-52
DOI: 10.14489/td.2019.12.pp.048-052
5. Яцьпен В.В., Слосарев М.В. Ультразвуковая диагностика дефектов зоны сплавления в слоистых композиционных материалах// Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2011. Т. 14. № 4. С. 103-105.
6. A. Ilyakhinskiy, V. Rodyushkin, E. Berezin Ultrasonic flaw detection capabilities at first stage of technological process of ship engine overhaul // MATEC Web of Conferences 224, 02012 (2018) DOI: 10.1051/mateconf/201822402012
7. Seldis T. Ultrasonic properties of reactor pressure vessel strip cladding // Insight. 2009. V. 51. N 11. P. 601 - 605. DOI: 10.1784/insi.2009.51.11.601
8. Vanyagin A.V., Rodyushkin V.M. Measurement of acoustic nonlinearity of damaged metal // Measurement Techniques. 2018. T. 60. № 10. С. 1028-1031. DOI: 10.1007/s11018-018-1312-x
9. Yeh C.N., Wu T.C., Yang C.H. Nondestructive measurement material characterization of thermal sprayed aluminum coatings by using laser ultrasound technique.// Physics Procedia, 2015, vol. 70, pp. 492-495. □ DOI:10.1016/j.phpro.2015.08.293
10. Ботвина Л.Р. Разрушение: Кинетика, механизмы, общие закономерности. - М.: Наука, 2008. - 334 с.
11. Gobran N.K., Youssef H. New method for the measurement of ultrasonic attenuation in solids at high temperatures. J.Acoust.Soc.Amer., 1966, v.39, No.6, paper ID 11201124. □ DOI:10.1121/1.1909999
12. Карташев В. Г., Фадин А. С., Трунов Э. И., Али Зайд Салех Салем. Определение коэффициента погонного затухания ультразвуковой волны в неоднородном материале посредством обработки реализаций структурного шума // Вестник МЭИ. - 2017. - № 4. - С. 146-155. DOI: 10.24160/1993-6982-2017-4-146-155
13. P. Bayer, L. Singher and A. Notea. Early detection of fatigue damage through ultrasonic non-destructive evaluation / part II: Experimental, Journal of Testing and Evaluation.vol.27. iss.6 (1999) p.432 - 439. DOI: 10.1520/JTE12172J
14. Erofeev V.I., Ilyahinsky A.V., Nikitina E.A., Rodyushkin V.M. Study of the defective structure of metal by the method of ultrasonic sounding // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2019. T. 48. № 1. С. 93-97. DOI: 10.3103/S1052618819010060
15. Мотова Е.А., Никитина Н.Е. Ультразвуковое исследование поведения конструкционных материалов при циклическом нагружении // Проблемы прочности и пластичности, 2015, Т.77, №3, С. 227-235.

ESTIMATING THE QUALITY OF POWDER WIRE SURFACING RESTORATION OF SCOOP CHAIN FAST-WEARING PARTS WITH THE USE OF ULTRASONIC

Eugene K. Berezin

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Vladimir M. Rodyushkin

Head of Laboratory on Experimental Mechanics, Institute of Machine Building Problems, Russian Science Academy, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. On the example of the fingers of the scoop chain, a technique is proposed for the integral assessment of the quality of restoration of parts using elastic waves - ultrasound. The purpose of the work is to ensure the efficiency of measurements when assessing the quality of remanufactured parts in the conditions of a repair base. For this, data on the attenuation of elastic waves when they pass through the restored part were used. Unlike precision measurements of the velocity of elastic waves, the measurement of ultrasound attenuation does not require laboratory equipment, a conventional industrial flaw detector is sufficient. To assess the quality of the product, the transducer was alternately installed at points determined along the length of the finger, the probe beam was directed along the diameter and the first pulse of elastic vibrations reflected from the opposite side of the finger was recorded and the second, which passed two additional diameters of the finger. Found a quantitative indicator that allows you to assess the quality of restoration of the part. The proposed method to a certain extent solves the problem of integral assessment of the state of the restored finger of the scoop chain. To prevent premature failure of parts restored by welding with flux-cored wire, it is enough to introduce into practice an easy procedure for controlling sound attenuation.

Keywords: technique, scoop chain finger, flux-cored wire surfacing, restoration, ultrasound attenuation, flaw detector

References:

1. Levin E.L., Sajfullin R.N. Ocenka prochnosti scepheniya lenty s osnovny'm metallom pri vostanovlenii detalej e'lektrokontaktnoj privarkoj // Uprochnyayushhie tekhnologii i pokry'tiya. 2008. № 10 (46). S. 48-49.
2. Rodyushkin V. M., Berezin E.K. Ul'trazvukovoj kontrol' rassloenij shatunnogo vklady'sha dizel'ny'x agregatov G60//Kontrol'.Diagnostika.2018.№8. s.60-64 DOI: 10.14489/td.2018.08.pp.060-064
3. Ilyaxinskij A.V., Rodyushkin V.M. O nekotory'x tekhnologiyax ul'trazvukovogo kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya oborudovaniya//Aktual'ny'e problemy' v mashinostroenii. 2019.T.6.№1-4.s.60-65
4. Dubrovskij V.A., Amelicheva A.Yu., Potapov A.V., Zezyulya V.V., Golovacheva Yu.G., Men'shikov V.S. E'ksperimental'ny'e issledovaniya tekhnologicheskix svojstv metallicheskix pokry'tij cilindricheskix obraczov posle e'lektrokontaktnoj navarki razlichny'mi provolokami// Svarka i diagnostika. 2018. № 1. S. 27-31.
5. Berezin E.K., Rodyushkin V.M. Predremontnaya diagnostika metalla pal'cev cherpakovoj cepi s pomoshh'yu ul'trazvuka // Kontrol'.Diagnostika.2019.№12.s.48-52 DOI: 10.14489/td.2019.12.pp.048-052
6. Yacyshen V.V., Slyusarev M.V. Ul'trazvukovaya diagnostika defektov zony' splavlenniya v sloisty'x kompozicionny'x materialax// Fizika volnovy'x processov i radiotekhnicheskie sistemy'. 2011. T. 14. № 4. S. 103-105.
7. A. Ilyakhinskiy, V. Rodyushkin, E. Berezin Ultrasonic flaw detection capabilities at first stage of technological process of ship engine overhaul // MATEC Web of Conferences 224, 02012 (2018) DOI: 10.1051/mateconf/201822402012
8. Seldis T. Ultrasonic properties of reactor pressure vessel strip cladding // Insight. 2009. V. 51. N 11. P. 601 - 605. DOI: 10.1784/insi.2009.51.11.601

8. Vanyagin A.V., Rodyushkin V.M. Measurement of acoustic nonlinearity of damaged metal // Measurement Techniques. 2018. Т. 60. № 10. S. 1028-1031. DOI: 10.1007/s11018-018-1312-x
9. Yeh C.N., Wu T.C., Yang C.H. Nondestructive measurement material characterization of thermal sprayed aluminum coatings by using laser ultrasound technique.// Physics Procedia, 2015, vol. 70, pp. 492-495. • DOI:10.1016/j.phpro.2015.08.293
10. Botvina L.R. Razrushenie: Kinetika, mexanizmy', obshhie zakonomernosti. - M.: Nauka, 2008. - 334 s.
11. Gobran N.K., Youssef H. New method for the measurement of ultrasonic attenuation in solids at high temperatures. J.Acoust.Soc.Amer., 1966, v.39, No.6, paper ID 11201124. • DOI:10.1121/1.1909999
12. Kartashev V. G., Fadin A. S., Trunov E. I., Ali Zajd Salex Salem. Opredelenie koefficienta pogonnogo zatuxaniya ul'trazvukovoj volny' v neodnorodnom materiale posredstvom obrabotki realizacij strukturnogo shuma // Vestnik MEI. - 2017. - № 4. - S. 146-155. DOI: 10.24160/1993-6982-2017-4-146-155
13. P. Bayer, L. Singher and A. Notea. Early detection of fatigue damage through ultrasonic non-destructive evaluation / part II: Experimental, Journal of Testing and Evaluation.vol.27. iss.6 (1999) p.432 - 439. DOI: 10.1520/JTE12172J
14. Erofeev V.I., Ilyahinsky A.V., Nikitina E.A., Rodyushkin V.M. Study of the defective structure of metal by the method of ultrasonic sounding // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2019. Т. 48. № 1. S. 93-97. DOI: 10.3103/S1052618819010060
15. Motova E.A., Nikitina N.E. Ul'trazvukovoe issledovanie povedeniya konstrukcionny'x materialov pri ciklicheskom nagruzhении // Problemy' prochnosti i plastichnosti, 2015, Т.77, №3, S. 227-235.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Березин Евгений Кимович, к.т.н., начальник учебно-научного производственного центра «Судоремонт» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951 Нижний Новгород ул. Нестерова 5, e-mail: berezinek@mail.ru

Eugene K. Berezin, Candidate of Engineering Sciences, Head of Educational Scientific Center "Ship Repair", «Volga State University of Water Transport», 5, Nesterova str., Nizhny Novgorod, 602951.

Родюшкин Владимир Митрофанович, д.т.н., заведующий лабораторией Волновой динамики, экспериментальной механики и виброзащиты Института Проблем Машиностроения РАН (ИПМ РАН), 603024 Нижний Новгород, Белинского, 85, e-mail: vlkn2005@yandex.ru

Vladimir M. Rodyushkin Doctor of Technical Sciences, Head of Laboratory on Wave dynamics, experimental mechanics and vibration protection, Machine Building Problems Institute, Russian Academy of Science, 85, Belinskiy str., Nizhny Novgorod, 603024.

Статья поступила в редакцию 14.07.2020 г.