

Ю. Г. БЕЗЫМЯННИЙ, Е. А. КОЗИРАЦКИЙ, А. Н. КОЛЕСНИКОВ, К. А. КОМАРОВ, О. В. ТАЛКО

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ СОРТАМЕНТА РОЛИКОВ ПРОКАТНОГО СТАНА ПОСЛЕ ИХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

В работе представлены результаты разработки методики ультразвуковой диагностики состояния дефектности малых партий роликов прокатного стана разного сортамента, на разных стадиях их восстановления после разрушения рабочей поверхности в процессе эксплуатации. Проведен сравнительный анализ эффективности обнаружения дефектов в изделиях определенного типоразмера с помощью стандартного дефектоскопа типа УД2-12 и с помощью оригинальной установки, адаптируемой к особенностям исследуемого объекта. Установлено преимущество предлагаемых методических особенностей ультразвуковой дефектоскопии восстановленных прокатных роликов в условиях интенсивных помех, вызванных характером приповерхностного прозвучивания и влиянием границы раздела между телом роликов и наплавленным металлом.

Ключевые слова: ролики прокатного стана, износ, наплавка, дефекты, неразрушающий поэтапный контроль, ультразвуковые методы.

Ю. Г. БЕЗИМЯННИЙ, Є. О. КОЗИРАЦЬКИЙ, А. М. КОЛЕСНИКОВ, К. А. КОМАРОВ, О. В. ТАЛКО
МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ДЕФЕКТΟΣКОПІЇ СОРТАМЕНТУ РОЛИКІВ ПРОКАТНОГО СТАНУ ПІСЛЯ ЇХ ВІДНОВЛЕННЯ

У роботі представлені результати розробки методики ультразвукової діагностики стану дефектності малих партій роликів прокатного стану різного сортаменту, на різних стадіях їх відновлення після руйнування робочої поверхні в процесі експлуатації. Проведений порівняльний аналіз ефективності виявлення дефектів у виробів певного типорозміру за допомогою стандартного дефектоскопа типу Уд2-12 і за допомогою оригінальної установки, що адаптується до особливостей досліджуваного об'єкту. Встановлена перевага запропонованих методичних особливостей ультразвукової дефектоскопії відновлених прокатних роликів в умовах інтенсивних перешкод, викликаних характером розповсюдження приповерхневих пружних хвиль і впливом межі розділу між тілом роликів і наплавленим металом.

Ключові слова: ролики прокатного стану, знос, наплавка, дефекти, неруйнівний постадійний контроль, ультразвукові методи.

Yu. G. BEZIMYANNIY, E. A. KOZIRACKIY, A. N. KOLESNYKOV, K. A. KOMAROV, O. V. TALKO
METHODOLOGICAL PECULIARITIES OF DEFECTOSCOPY OF THE SORTAMENT OF THE ROLLERS OF ROLLING MILL AFTER THEIR RESTORATION

The paper presents the results of developing a technique for ultrasonic diagnostics of the defectiveness of small batches of rollers of a rolling mill of a wide range of similar products. The study was carried out at different stages of the restoration of rollers after the destruction of the working surface during operation. A comparative analysis of the effectiveness of defect detection in products of a certain standard size was carried out using a standard UD2-12 flaw detector and using an original installation that was adapted to the features of the object under study. The advantage of the proposed methodological features of ultrasonic flaw detection of reconstructed rolling rollers in the conditions of intense noise caused by the nature of near-surface sounding and the influence of the interface between the roller body and the weld metal is established. To test the parameters of the sounding signal, to select the most efficient converter, the relative location of the converter and the roller, a test experiment was conducted on deliberately defective rollers. Some of the rollers after the flaw detection were cut to determine the type and size of defects and their comparison with the results of nondestructive testing. According to the results of the test experiment, optimal modes of probing of controlled products, frequency and time characteristics of ultrasonic signals, and the type of converter used were selected. For the testing of the rejection level, 2 batches of rollers (10 and 18 pieces) were manufactured, manufactured using different deposition techniques. Processing of the received statistical data has allowed to develop practical recommendations on revealing of defective products in an initial stage of technological process on restoration of rolling rollers.

Keywords: rollers of rolling mill, wear, surface welding, defects, non-destructive stepwise control, ultrasound methods.

Введение. Прокат металла занимает важное место в металлургической промышленности Украины. Ролики прокатного стана в процессе своей эксплуатации подвергаются значительным механическим и температурным нагрузкам и поэтому имеют ограниченный срок эксплуатации [1]. Продление их ресурса может быть достигнуто путём восстановления отработавших свой срок роликов. Восстановление имеет смысл, если такой ролик будет дешевле нового при сохранении его эксплуатационных характеристик. Решение этой задачи предполагает использование малозатратной технологии восстановления при гарантии качества её результатов. Такую гарантию может обеспечить неразрушающее выявление в восстановленных роликах критичных для надёжной эксплуатации дефектов. При мелкосерийном воспроизводстве роликов широкого сортамента используемый метод дефектоскопии должен обладать универсальностью

относительно размерных особенностей отдельных изделий при обеспечении высокой надёжности обнаружения дефектов, малом времени оценки состояния изделия и минимальных финансовых затратах. Этого можно достичь за счёт большой вероятности выявления дефектов при высокой производительности контроля с учётом быстрой перестройки оборудования под требуемый типоразмер изделия. Подобные задачи можно решать с помощью ультразвуковой дефектоскопии [2], однако, каждый конкретный случай требует индивидуальных методических проработок [3]. Такая проработка возможна путём адаптации используемого метода к особенностям исследуемого объекта и решаемой относительно него задаче контроля [4]. Адаптация позволяет существенно повысить информативность акустических методов и их чувствительность к особенностям дефектов на разных стадиях восстановления изделия.

Цель исследования: разработать и внедрить в производство универсальную малозатратную методику ультразвукового контроля дефектности широкого сортамента роликов прокатного стана, восстановленных после разрушения в процессе эксплуатации, при их мелкосерийном воспроизводстве.

При использовании акустических методов контроля применяли методологию [3], которая заключалась в решении следующих последовательных операций: анализ особенностей объекта контроля и задач, которые необходимо решить относительно него; разработка адаптированной методики измерений для каждой задачи, её универсализация относительно различий изделий; экспериментальная проверка полученных результатов и их анализ.

Объект и задачи исследования. Объектом исследования являлись ролики различных прокатных станов, которые восстанавливали после разрушения в процессе эксплуатации. Ролики представляли собой цилиндры из стали 40Х высотой 20...50 и диаметром 50...60 мм с цилиндрической полостью диаметром 10...15 мм в центре (рис. 1). Такие детали, в соответствии с известной [2, 5] классификацией относятся к поковкам.



Рис. 1 – Разные партии роликов

При восстановлении ролика на его боковой поверхности вырезали симметрично расположенный по высоте цилиндра паз глубиной 6-9 мм и заправляли образовавшуюся полость металлом. Излишки металла после наплавки стачивали. В результате используемой технологии в наплавленной части могли образоваться поры, а на её границе с основным металлом ролика – дефекты контактов (рис. 2).

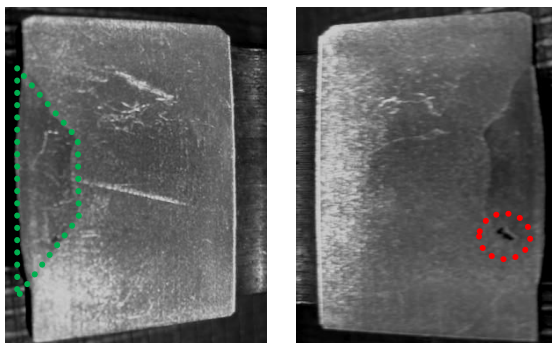


Рис. 2 – Сечения роликов с дефектами разной величины после наплавки

Таким образом, ролики, подлежащие контролю отличаются типоразмерами, величиной наплавленной части и могут в ней иметь дефекты различного вида и размеров, расположенные в любом месте наплавленной зоны. Методика контроля должна обеспечивать выявление минимально возможных дефектов в любом типоразмере изделия до или после стачивания излишков наплавки. В первом случае партия готовых изделий будет дешевле за счёт уменьшения расходов на обработку дефектных изделий.

Методика контроля. Ультразвуковой контроль поковок регламентируют стандарты [5, 6]. В соответствии этим документам можно выделить ряд рекомендаций [2], которые при адаптации применительно к рассматриваемому изделию позволяют сделать следующие выводы: ультразвуковой контроль позволяет обнаруживать все искомые дефекты (трещины, поры, инородные включения, неплотности); цилиндрические изделия рассматриваемых размеров с каналом вдоль оси контролируют по схеме, показанной на рис. 3; выявление трещин и других несплошностей проводят продольными волнами эхо-импульсным методом; полный контроль требует прозвучивания в трех взаимно перпендикулярных направлениях с использованием, в зависимости от вида дефекта и направления прозвучивания, прямых или наклонных преобразователей продольных или поперечных волн; приповерхностный слой контролируют РС-преобразователем; для всех видов прозвучивания применяют частоты 2...5 МГц.

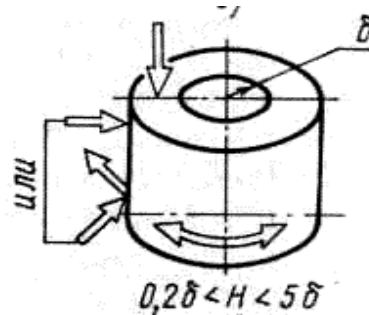


Рис. 3 – Схема контроля изделия

По результатам анализа объекта исследования и поставленных задач для прозвучивания изделий была разработана измерительная акустическая камера (рис. 4), в которой акустический преобразователь совмещённого или РС-типа закрепляли соосно с роликом на одной из его плоских поверхностей. Устройство для крепления преобразователя обеспечивало его перемещение со всеми степенями свободы и последующей фиксацией, что позволяло выбирать оптимальный режим прозвучивания наплавленной зоны ролика любого типоразмера. Для прозвучивания всей приповерхностной зоны изделия с возможными дефектами использовали устройство вращения ролика относительно датчика. Такое решение обеспечило требуемую высокую производительность и универсальность методики

контроля, но уменьшило вероятность обнаружения дефектов, расположенных вдоль образующей ролика.



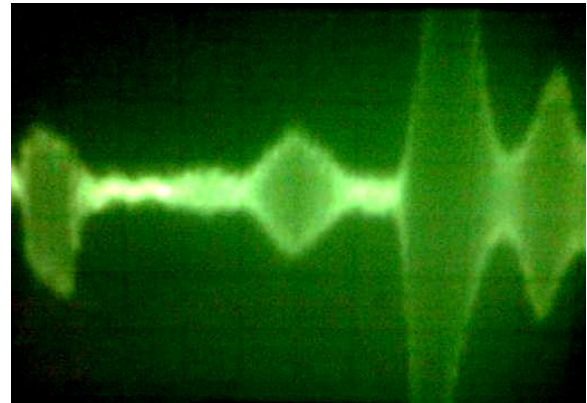
Рис. 4 – Акустическая измерительная камера

Использование стандартного дефектоскопа УД-12 с ударным возбуждением пьезопреобразователя, привело к наличию значительных помех различного происхождения и проблем с идентификацией дефектов раскрытием менее 1 мм. Переход к разработанному нами оригинальному аппаратному комплексу для прецизионных акустических измерений [4] с возбуждением датчика периодическим радиоимпульсом при тональном заполнении и настраиваемой длительности показал, что на частоте 2,5 МГц и длительности 2-3 мкс при использовании РС-преобразователя возможно надёжное выявление на фоне структурных помех, обусловленных рассеянием ультразвука на материале наплавки, дефектов с раскрытием от и более 0,5 мм.

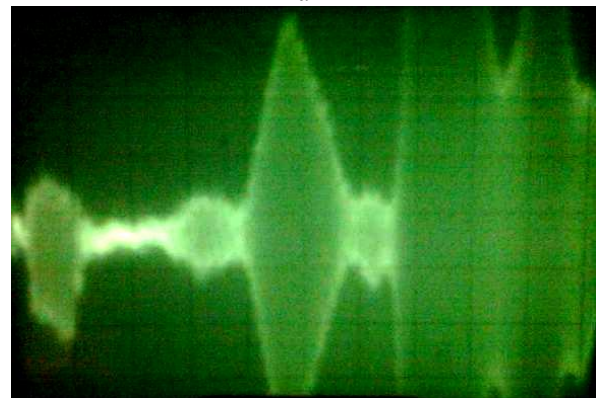
Экспериментальная проверка полученных результатов и их анализ. Для отработки параметров зондирующего сигнала, выбора наиболее эффективного преобразователя, взаимного расположения преобразователя и ролика был проведен тестовый эксперимент на заведомо дефектных роликах. Часть роликов после дефектоскопии разрезали для установления вида и размеров дефектов. Результаты постановочного эксперимента показали (рис. 5):

- использование совмещённого преобразователя не целесообразно в виду длительного времени реверберации при первом донном отражении, а на интервале между первым и вторым донным отражением – наличия, наряду с сигналами от дефекта, постоянной помехи, очевидно, от боковой поверхности ролика;
- при использовании преобразователя РС-типа и в дефектоскопе, и в комплексе всегда присутствуют помехи, обусловленные взаимодействием упругой волны с поверхностью ролика и (или) границей раздела основного материала ролика и наплавки. Минимизация этих помех достигается ориентацией зондирующего сигнала относительно диаметра ролика: наибольшее значение – при излучении вдоль диаметра, а наименьшее – перпендикулярно ему;

- настройка параметров дефектоскопа позволяет использовать его для контроля роликов как с одной плоской поверхности, так и с другой на частотах 2,5 и 5,0 МГц, а комплекса – 2,5 МГц;
- использование датчика на 5,0 МГц в комплексе не целесообразно, а в дефектоскопе не даёт заметного выигрыша;
- если у ролика одна из плоских поверхностей не шлифована, то надёжность выявления дефектов при зондировании с этой поверхности снижается;
- контроль до и после стачивания излишков наплавки может быть проведен с одинаковой эффективностью при условии оптимизации расположения датчика.



а



б

Рис. 5 – Сигналы от дефектов разной величины

Для отработки браковочного уровня был проведен контроль 2-х партий роликов (10 и 18 шт.), изготовленных по разным технологиям нанесения наплавки. Обработка полученных данных показала:

- все ролики по размерам дефектов можно разделить на 3 типа (рис. 6): с крупными дефектами (а), с мелкими дефектами (б), без дефектов (в);
- крупные дефекты одинаково хорошо фиксируются комплексом и дефектоскопом;
- мелкие дефекты хорошо фиксируются комплексом и не всегда дефектоскопом;
- оценку размера дефекта надёжнее проводить с помощью комплекса, используя уровень эхо-сигнала от дефекта или его значение относительно уровня донного эхо-сигнала, считая при этом сигналы выше 200 мВ крупными дефектами, менее – мелкими, а на уровне помех – бездефектными.

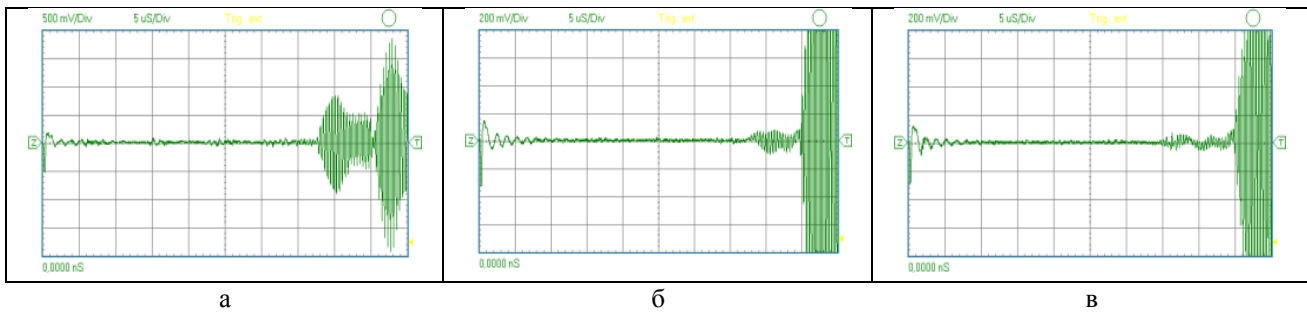


Рис. 6. Классификация дефектов

Выводы. Полученные результаты показывают возможность эффективного применения ультразвуковой дефектоскопии при экспресс-контроле роликов широкого сортамента в условиях их воспроизводства при использовании адаптивных методов измерения и соответствующей аппаратуры.

Список литературы

1. Полухин В.П., Полухин П.И., Николаев В.А. Составной рабочий инструмент прокатных станов. М.: Металлургия, 1977. – 87 с.
2. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В.В.Клюева. Т.3: И.Н.Ермолов, Ю.В.Ланге. Ультразвуковой контроль. – М.: Машиностроение, 2004. – 864 с.
3. Безмянный Ю.Г. Акустическое отображение материалов с развитой мезоструктурой // Акустичний вісник. – 2006. – Т. – 9. – № 2. – С. 3-16.
4. Безмянный Ю.Г. Акустичний контроль матеріалів з розвинутою мезоструктурою // Фізико-хімічна механіка матеріалів 2007. № 4. С.53-65.
5. ДСТУ EN 10229-3-2017. Неразрушаючий контроль поковок из стали. Часть 3. Ультразвуковой контроль поковок из ферритных и мартенситных сталей (EN 10229-3: 2016: IDT).
6. ГОСТ 24507-80. Контроль неразрушающий. Поковки из чёрных и цветных металлов. Методы ультразвуковой дефектоскопии.

References (transliterated)

1. Polukhin V.P., Polukhin P.I., Nikolaev V.A. Sostavnoy rabochiy instrument prokatnykh stanov [Composite working tool of rolling mills]. M.: Metallurgiya, 1977. – 87 p.
2. Nerazrushayushchiy kontrol': Spravochnik [Non-destructive testing: Handbook]: V 8 t. / Rus. ed.: V.V.Klyuev. Vol.3: I.N.Ermolov, Yu.V.Lange. Ul'trazvukovoy kontrol' [Ultrasonic testing]. – Moscow: Mashinostroenie, 2004. – 864 p.
3. Bezmyannyuy Yu.G. Akusticheskoe otobrazhenie materialov s razvitoy mezostrukturoy [Acoustic mapping of materials with developed mesostructure] // Akustychnyy visnyk [Acoustic messenger]. – 2006. – Vol. – 9. – No 2. – pp. 3-16.
4. Bezmyannyuy Yu.H. Akustychnyy kontrol' materialiv z rozvynutoy mezostrukturoy [Acoustic control of materials with developed mesostructure] // Fizyko-khimichna mekhanika materialiv [Physical-chemical mechanics of materials] 2007. No 4. pp.53-65.
5. DSTU EN 10229-3-2017. Nerazrushayushchiy kontrol' pokovok iz stali. Chast' 3. Ul'trazvukovoy kontrol' pokovok iz ferritnykh i martensitnykh staley [State Standard EN 10229-3-2017. Non-destructive testing of forgings made of steel. Part 3. Ultrasonic inspection of forgings from ferritic and martensitic steels]. (EN 10229-3: 2016: IDT)
6. GOST 24507-80. Kontrol' nerazrushayushchiy. Pokovki iz chernykh i tsvetnykh metallov. Metody ul'trazvukovoy defektoskopii [Non-destructive testing. Forgings of ferrous and non-ferrous metals. Methods of ultrasonic flaw detection].

Поступила (received) 05.06.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Безмянный Юрій Георгійович (Безмянный Юрий Георгиевич, Bezmyannyi Yurii Georgievych) – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу, Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ; e-mail: bezimyni@i.com.ua.

Козирацький Євген Олександрович (Козирацкий Евгений Александрович, Kozirackiy Evgen Aleksandrovich) – здобувач, молодший науковий співробітник, Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ; тел.: (044) 424-20-55; e-mail: evgeniy_k@ukr.net.

Колесников Анатолій Миколайович (Колесников Анатолий Николаевич, Kolesnykov Anatolii Nikolayevich) – науковий співробітник, Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ; тел.: (044) 424-20-55; e-mail: dep57@materials.kiev.ua

Комаров Костянтин Андрійович (Комаров Константин Андреевич, Komarov Konstantin Andreevich) – науковий співробітник, Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ; тел.: (044) 424-52-00; e-mail: kol7kon@gmail.com

Талько Оксана Вікторівна (Талько Оксана Викторовна, Talko Oksana Viktorovna) – молодший науковий співробітник, Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ; тел.: (044) 424-52-00; e-mail: dep57@materials.kiev.ua