

## Использование вихретокового метода неразрушающего контроля для поиска скрытого сварного шва при несанкционированном изменении целостности конструкции автотранспортных средств

*Р.В. Зиганшин<sup>1</sup>, В.Г. Саиткулов<sup>1</sup>, Л.М. Ширяк<sup>2</sup>, С.Е. Лантарев<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А. Н. Туполева – КАИ, Казань*

*<sup>2</sup>ООО «Криммедтех», Казань*

*<sup>3</sup>Филиал АО «Татэнерго» Казанские тепловые сети, Казань*

**Аннотация:** в данной статье описывается возможность использования вихретокового метода неразрушающего контроля с целью поиска скрытого сварного шва при несанкционированном изменении целостности конструкции автотранспортных средств. Описание способа и математической модели. В виде таблиц и графиков проиллюстрированы экспериментальные данные. Также приведено обоснование эффективности данного метода.

**Ключевые слова:** неразрушающий метод контроля, сварной шов, автотранспортное средство, частота, дефект, целостность конструкции.

### Введение

В современном мире большое количество автотранспортных средств продаются и покупаются на вторичном рынке, в связи с этим возникает вопрос: как убедиться в качестве покупаемого транспортного средства?

Есть много факторов влияющих на качество транспортного средства. Такие как условия эксплуатации, своевременная замена расходных материалов и так далее. Одним из важнейших факторов является целостность кузовных элементов. Ведь по этим элементам можно определить участвовало ли транспортное средство в дорожно-транспортных происшествиях, имеются ли на автомобиле признаки изменения первичной маркировки.

При обнаружении, во время проверки кузовных элементов, наличие несанкционированных изменений целостности, можно предотвратить покупку потенциально опасного транспортного средства и найти угнанный автомобиль.

Были рассмотрены исследования металлических пластин на наличие трещин вихретоковым методом неразрушающего контроля [1,2], на основании которых принято решение использовать данный метод.

### **Модель и описание способа**

Соединение, выполненное сваркой плавлением (малоуглеродистой, низколегированной) стали, состоит из следующих зон: 1 - металл шва; 2 - зона сплавления; 3 - зона термического влияния и 4 - основной металл (рис.1).

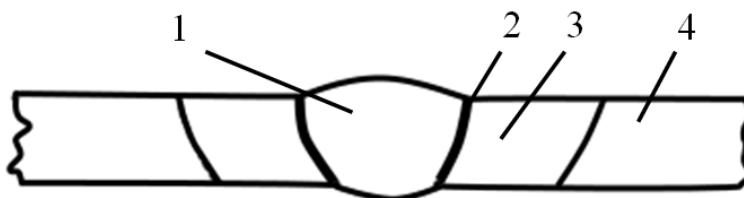


Рис. 1. Строение сварного соединения

Металл шва – сплав, образованный расплавленным основным и наплавленным металлами или только переплавленным основным металлом.

Зона сплавления – зона, где находятся частично оплавленные зерна металла на границе основного металла и металла шва. Эта зона нагрева ниже температуры плавления. Нерасплавленные зерна в этой зоне разъединяются жидкими прослойками, связанными с жидким металлом сварочной ванны, в эти прослойки имеют возможность проникать элементы, введенные в ванну с дополнительным металлом или сварочными материалами. Поэтому химический состав этой зоны отличен от химического состава основного металла.

Зона термического влияния – участок основного металла, не подвергшийся расплавлению, структура и свойства которого изменились в результате нагрева или пластической деформации при сварке, наплавке или резке.

Основной металл – металл подвергающихся сварке соединяемых частей, чаще это малоуглеродистая сталь после прокатки [3].

В работах известных ученых: А.Л. Дорофеева, В.Г. Герасимова и др., рассмотрены математические модели датчиков вихретоковых преобразователей, и приведены зависимости для расчета вносимых значений индуктивного и активного сопротивлений катушки. Большинство этих моделей разработаны для частных, конкретных случаев, многие из них сложны для расчетов и в них не учитывается влияние сердечника. Нам в данном случае интересует зависимость вносимой в катушку индуктивной составляющей полного сопротивления  $L_B$  от электропроводности металла, поскольку в районе сварного шва происходит изменение структуры металла, влияющее на его электропроводные свойства. Воспользовавшись одной из наиболее простых формул для  $L_B$ , приведенной в [4], имеем:

$$L_B = \frac{28,6 r n^2 10^{-7} e^{-3,6(h/r)}}{1 + \left( \frac{7880}{r T \sigma_M f} \right)}, \quad (1)$$

где  $r$  – радиус, считая от оси катушки до середины обмотки;  $n$  – число витков;  $h$  – расстояние от центра катушки до металла,  $\sigma_M$  – электропроводность металла, выраженная в % от электропроводности меди;  $T$  – толщина металлической пластины;  $f$  – частота.

### Экспериментальные данные

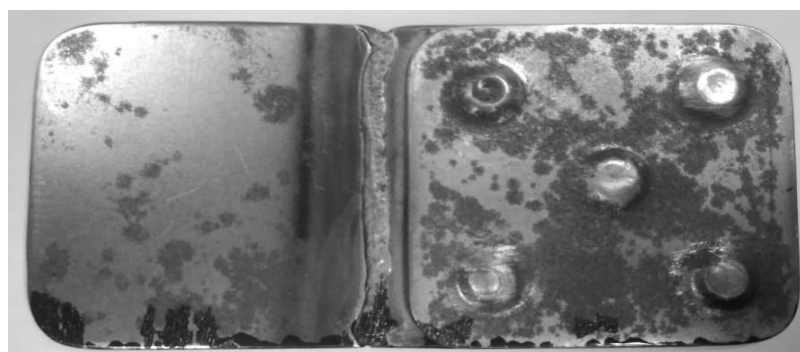
В нашем эксперименте был рассмотрен образец, который состоит из двух пластин, сваренных между собой. Сварной шов между пластинами был обработан так, что обе пластины, в конечном счете, находились на одной плоскости без каких-либо стыковых неровностей. Также образец был покрыт лакокрасочным покрытием, как показано на рис. 2, и визуально определить область сварки невозможно.

Целью эксперимента является обнаружение скрытого сварного шва.

В таблице № 1 записаны значения частоты на разном расстоянии от центра сварного шва. Каждый измерение проводилось на одной линии слева на право, с шагом 5 мм. Измерения проводились в зоне сварного шва и зоне с изменением цвета (цвета побежалости) и в зоне без термического влияния.



а)



б)

Рис. 2 – Фотография образца:  
а) с лицевой стороны, б) с обратной стороны.

Таблица № 1

Показатели частоты

№ измерения	Расстояние до центра сварного шва, мм								
	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20
1	12846	12832	12820	12612	12565	12740	12833	12840	12824

Продолжение Таблицы № 1

2	12830	12834	12822	12700	12580	12754	12830	12838	12826
3	12842	12836	12816	12750	12587	12770	12824	12830	12824
4	12836	12830	12804	12760	12600	12778	12820	12828	12828
5	12830	12844	12815	12715	12598	12700	12823	12820	12824
6	12839	12826	12808	12775	12592	12688	12828	12845	12825
7	12825	12842	12808	12742	12592	12749	12820	12846	12816
8	12836	12834	12804	12780	12590	12770	12830	12836	12822
9	12830	12828	12806	12786	12566	12730	12826	12838	12830
10	12836	12824	12820	12630	12595	12688	12829	12830	12818
11	12840	12840	12810	12784	12588	12722	12816	12826	12822
12	12834	12828	12812	12748	12600	12770	12828	12828	12816

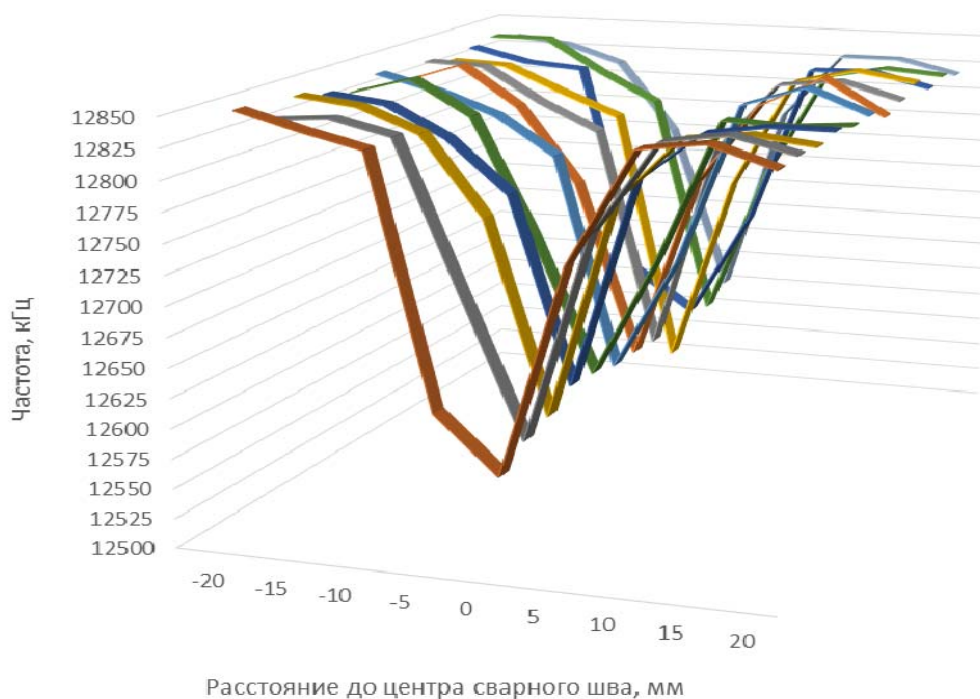


Рис. 2. – График зависимости частоты от расстояния до центра сварного шва

Рис. 2 показывает изменение значения частоты колебания в зависимости от локализации сварного шва. Стоит отметить, что на расстоянии 10 и -10 мм находится зона с изменением структуры материала.

Рассмотрев график можно сказать, что при приближении к сварному шву значение частоты уменьшается. Таким образом, можно сделать вывод о том, что по изменению частоты можно с высокой точностью определить область локализации скрытого сварного шва.

### **Заключение**

На основании проведенного исследования можно сделать вывод о том, что вихретоковый способ контроля кузовных деталей автотранспортных средств позволяет с высокой точностью определить места, подвергшиеся как кузовному ремонту, так и изменению первичной маркировки.

### **Литература**

1. Harzallah S., Chabaat M. Eddy Current Sensor Modeling For the Nondestructive Evaluation of Stress Intensity Factor // ScienceDirect. 2014. AASRI Procedia №9. pp. 57-63.
2. Zaoui A., Menana H., Feliachi M., Berthiau G. Inverse Problem in Nondestructive Testing Using Arrayed Eddy Current Sensors // Sensors. 2010. №10. pp. 8696-8704.
3. Ефименко Л.А., Прыгаев А.К., Елагина О.Ю. Металловедение и термическая обработка сварных соединений. М.: Логос, 2007. 456 с.
4. Дорофеев А.Л., Никитин А.И., Рубин А.Л. Индукционная толщинометрия. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1978. 184 с., ил.
5. Герасимов В.Г., Покровский А.Д., Сухоруков В.В. Неразрушающий контроль. . В 5 кн. Кн.3. Электромагнитный контроль: Практ. пособие, изд.- М.: Высш. шк., 1992. 312 с.

6. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. В 2-х книгах. Кн. 2./Под ред. В. В. Клюева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. 352 с., ил.

7. Дорофеев А. Л. Неразрушающие испытания методом вихревых токов. – М.: Оборонгиз, 1961. 158 с., ил.

8. Герасимов В.Г., Останин Ю.Я., Покровский А.Д., Сухоруков В.В., Чернов Л.А. Неразрушающий контроль качества изделий электромагнитными методами. – М.: Энергия, 1978. 216 с., ил.

9. М.В. Шигаев, С.В. Евдокимов, Т.В. Истомина, А.И. Сафронов, Ю.Ю. Левин, В.А. Ерофеев. Обоснование использования метода импульсной лазерной сварки на производстве систем доставки коронарных стентов // Инженерный вестник Дона, 2011, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/518.

10. Гаврилов А.И., Мин Мин Тун, Ситу Аунг Сое, Тхет Аунг. Адаптивная система управления сварочным оборудованием // Инженерный вестник Дона, 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2385.

### References

1. Harzallah S., Chabaat M. ScienceDirect. 2014. AASRI Procedia №9. pp. 57-63.

2. Zaoui A., Menana H., Feliachi M., Berthiau G. Sensors. 2010. №10. pp. 8696-8704.

3. Efimenko L.A., Prygaev A.K., Elagina O.Ju. Metallovedenie i termicheskaja obrabotka svarnyh soedinenij. [Metallurgy and heat treatment of welded joints.] М.: Logos, 2007. 456 p.

4. Dorofeev A.L., Nikitin A.I., Rubin A.L. Indukcionnaja tolshhinometrija. [Induction method.] 2e izd., pererab. i dop. М.: Jenergija, 1978. 184 p., il.

5. Gerasimov V.G., Pokrovskij A.D., Suhorukov V.V. Nerazrushajushhij kontrol' [Nondestructive testing]. V 5 kn. Kn.3. Jelektromagnitnyj kontrol': Prakt. posobie, izd. M.: Vyssh. shk., 1992. 312 p.

6. Pribory dlja nerazrushajushhego kontrolja materialov i izdelij. [Devices for non-destructive testing of materials and products.] Spravochnik. V 2h knigah. Kn. 2. Pod red. V. V. Kljueva. 2e izd., pererab. i dop. M.: Mashinostroenie, 1986. 352 p., il.

7. Dorofeev A. L. Nerazrushajushhie ispytaniya metodom vihrevykh tokov. [Non-destructive testing by eddy current method.] M.: Oborongiz, 1961. 158 p., il.

8. Gerasimov V.G., Ostanin Ju.Ja., Pokrovskij A.D., Suhorukov V.V., Chernov L.A. Nerazrushajushhij kontrol' kachestva izdelij jelektromagnitnymi metodami. [Non-destructive quality control of products electromagnetic methods.] M.: Jenergija, 1978. 216 p., il.

9. M.V. Shigaev, S.V. Evdokimov, T.V. Istomina, A.I. Safronov, Ju.Ju. Levin, V.A. Erofeev, Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/518](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/518).

10. Gavrilov A.I., Min Min Tun, Situ Aung Soe, Thet Aung. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2385](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2385).