

УДК 621.791. 75.01

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕТАЛЛА КОРПУСА СТУПИЦ
РЕДУКТОР-МОТОР КОЛЕСА БЕЛАЗА 7555 ПОСЛЕ РЕМОНТА

THE RESEARCH OF STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE HUB SHELL
METAL OF GEAR-MOTOR WHEEL OF THE BELAZ 7555 AFTER REPAIR

Абабков Николай Викторович,

кандидат техн. наук, доцент, e-mail: n.ababkov@rambler.ru

Ababkov Nikolay V., C. Sc. in Engineering, Associate Professor

Баканов Александр Александрович,

кандидат техн. наук, доцент, директор института e-mail: bakanovaa@kuzstu.ru

Bakanov Alexander A., C. Sc. in Engineering, Associate Professor

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия,
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Vesennaya street, 28, Kemerovo, 650000,
Russian Federation

Аннотация. Выполнены исследования металла фрагментов образцов ступиц РМК, используемых в автомобилях БЕЛАЗ, неразрушающими и разрушающими методами контроля. Установлено, что использование базовой технологии для ремонта приводит к изменению структуры и твердости металла в зоне наплавки зубчатого венца, что приводит к разрушению металла (образование трещин на корпусе) в ходе эксплуатации РМК и повторному ремонту. Показано, что спектрально-акустический метод контроля может применяться при контроле металла корпусов ступиц редуктора-мотора колеса, используемого в автомобиле БЕЛАЗ 7555.

Abstract. The study of samples of metal hubs RMK, used in BelAZ, submitted by non-destructive and destructive methods of control. It is found that the use of the underlying technology for the repair results in a change in the structure and hardness of the metal in the area facing the gear ring, resulting in the destruction of metal (formation of cracks in the casing) during operation RMK repair and reuse. It is shown that the spectral-acoustic method of control may be used in controlling the hub shell metal of gear-motor wheel used in the vehicle BELAZ 7555.

Ключевые слова: ступица редуктор-мотор колеса, спектрально-акустический метод контроля, интенсивность магнитного шума, микротвердость, структура.

Keywords: hub of gear-motor wheel, spectral-acoustic method of control, the intensity of the magnetic noise, microhardness, structure.

Как известно, Кузбасс – угольный край с большим количеством разрезов, где используются автомобили БЕЛАЗ.

В связи с этим необходимо и экономически выгодно наладить качественный ремонт деталей и узлов данных автомобилей у нас в области. Одним

из дорогостоящих узлов автомобиля БЕЛАЗ является ступица редуктор-мотор колеса (далее РМК). Ступица (далее РМК) является наиболее нагруженным элементом РМК, воспринимающим основные нагрузки при эксплуатации РМК (рис. 1, а) [1, 2]. Из-за больших эксплуатационных нагруз-



a)



б)

Рис. 1. Ступица РМК: а – в сборе; б – зубчатый венец ступицы

зок всего РМК и ступицы, в частности, происходит быстрый износ последней. Наиболее изнашиваемой частью ступицы является зубчатый венец (рис. 1, б). Существующая технология ремонта на авторемонтном предприятии зубчатого венца не совершенна, что приводит к частому повторному ремонту, из-за чего предприятие несет убытки.

В связи с частыми выходами из строя данного оборудования возможны аварии с жертвами. Для их предотвращения необходимо разработать технологию контроля, которая предусматривала бы обнаружение эксплуатационных дефектов (например, трещины), а также возможность контроля проведения ремонтных наплавок, в том числе образование закалочных структур.

Одним из наиболее перспективных методов контроля состояния металла сварных соединений, основного металла и выявления несплошностей в настоящее время считается спектрально-акустический метод. Ранее авторами [3–8] было установлено, что спектрально-акустический метод контроля является чувствительным методом оценки локальных полей внутренних напряжений и параметров микроструктуры (плотности дислокаций, кривизны-кручения кристаллической решетки и т.д.). Кроме того, акустические характеристики материалов (скорость распространения упругих волн, затухание и дисперсия, акустический импеданс) имеют связь с механическими свойствами материалов. Это позволяет по акустическим характеристикам материала судить о его механических свойствах.

Таким образом, исходя из вышесказанного, целесообразно провести исследования металла корпуса ступиц редуктор-мотор колеса БЕЛАЗа 7555 после ремонта спектрально-акустическим методом и показать возможность применения данного метода.

Материал ступицы сталь 40Л – сталь для литья, обычновенного качества, обладает ограниченной свариваемостью, рекомендуется предварительный подогрев либо последующая термообработка, для

проведения ремонта металла зубчатого венца ступиц РМК используется полуавтоматическая наплавка сварочной проволокой Св-08Г2С.

Для проведения исследований были изготовлены образцы металла, вырезанные из ступиц РМК после ремонта: образец №1 – металл корпуса ступицы в области неподверженной термическому влиянию в ходе выполнения сварочных работ (рис. 2, а); образец №2 – металл ступицы взятый с места наплавки зубчатого венца (рис. 2, б); образец №3 – металл ступицы РМК взятый из зоны термического влияния с образованием трещины в ходе эксплуатации РМК (рис. 2, в). Трещина образовалась с внешней стороны корпуса ступицы, в ходе эксплуатации последней после ремонта. Образцы вырезались углошлифовальной машинкой с последующей шлифовкой поверхности.

Значения твердости образца №1 составили 43,5–44,8 HRC, что практически в 2 раза превышает стандартные значения твердости для данной стали (образец №1 – 21,8–25,3 HRC). Причиной увеличения твердости послужил перегрев металла в процессе наплавки зубчатого венца и отсутствие последующей термообработки, что в дальнейшем может привести к хрупкому разрушению корпуса в данном месте.

Образец №2 показал твердость 19,8–22,5 HRC, что соответствует твердости наплавленного металла сварочной проволокой 08Г2С без дополнительной термообработки. Данная проволока не обладает высокими характеристиками к износостойкости, что снижает срок службы зубчатого венца ступицы.

Исходная структура стали 40Л в соответствии с нормативной документацией представлена на рис. 3.

Как видно из рис. 3, сталь 40Л имеет феррито-перлитное строение, при этом соотношение феррита к перлиту составляет 35% к 65%.

Микроструктура образца с неповрежденного участка корпуса ступиц редуктор-мотор колеса представлена на рис. 4.



Рис. 2. Образцы для экспериментальных исследований: а – образец №1; б – образец №2; в – образец



Рис. 3. Микроструктура исходного состояния стали 40Л

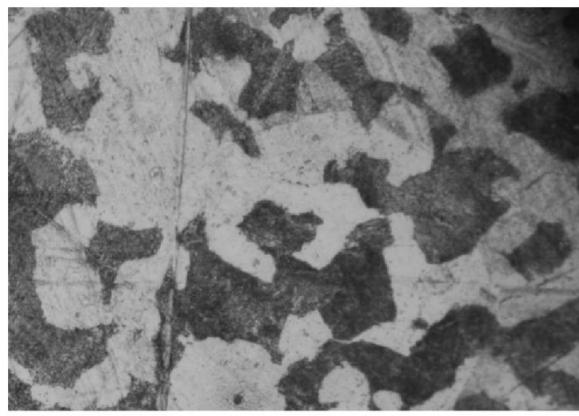


Рис. 4. Микроструктура металла неповрежденного участка корпуса ступиц РМК, $\times 500$

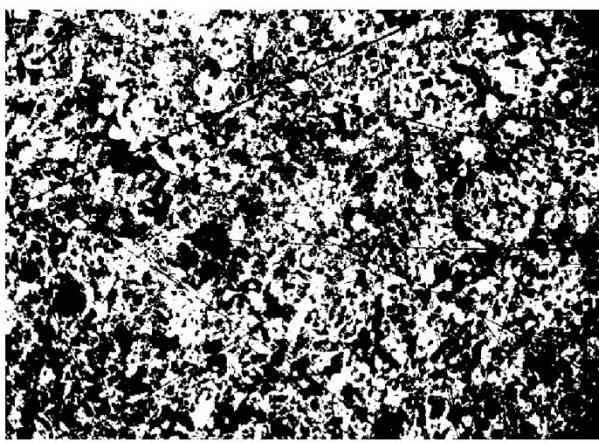
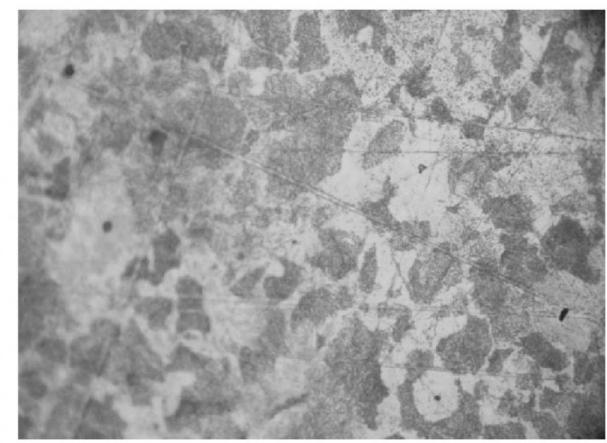


Рис. 5. Микроструктура металла корпуса ступиц РМК вблизи зоны трещины:
а – увеличение $\times 100$; б – увеличение $\times 500$

Микроструктура металла неповрежденного участка корпуса ступицы РМК отличается от исходного состояния для стали 40Л. Для этого образца соотношение феррита к перлиту составляет 30% к 70%.

После изучения микроструктуры исходного состояния для стали 40Л и образца металла неповрежденного участка был изучен металл корпуса ступиц РМК (рис. 2, а) вблизи зоны трещины (рис. 5).

Из рис. 5 отчетливо видно, что соотношение



б)

феррита к перлиту составляет не 35 % к 65 % как для исходного образца, а 50 % к 50 %.

Кроме того, на рис. 5, б различимы участки бейнитообразной структуры с игольчатой ориентацией зерен.

На заключительном этапе была исследована структура наплавленного металла (рис. 6). Рассматриваемая структура является типичной при наплавке сварочной проволокой 08Г2С.



Рис. 6. Микроструктура наплавленного металла корпуса ступиц РМЕ:
а – увеличение $\times 100$; б – увеличение $\times 200$



б)

Таблица1. Результаты измерения акустических и магнитных характеристик и микротвердости металла ступиц РМК

№ п/п	R , нс	$K_{\text{зат}}$, 1/мкс	Амплитуда		Интенсивность магнитного шума, б/в	Микротвердость, HV
			Верхняя	Нижняя		
Исходное состояние, образец №1						
1	4981	-0,011	205	230	339	220
2	4980	-0,014	222	272	345	222
3	4981	-0,021	228	283	354	225
4	4980	-0,009	212	266	342	219
Сварной шов, образец №2						
1	4984	0,037	153	227	339	322
2	4984	0,062	136	200	347	355
3	4982	0,068	126	199	343	416
4	4986	0,038	166	210	349	346
Вблизи трещины, образец №3						
1	5005	0,078	138	170	289	219
2	5001	0,112	119	141	293	199
3	5009	0,118	121	131	251	201
4	5004	0,091	130	158	248	198

Исследование микроструктуры металла образцов подтверждают, что в процессе ремонта из-за низкого качества наплавки произошло образование бейнитообразной структуры с игольчатой ориентацией зерен, а также, что с металлом корпуса ступиц РМК произошли структурные изменения в процессе эксплуатации. Действие этих двух факторов и привело к появлению трещин.

Для измерения акустических характеристик использовался измерительно-вычислительный комплекс «АСТРОН». Были проведены прецизионные измерения времени распространения (задержек) поверхностных акустических волн (ПАВ) – R , нс; отношения размахов амплитуд импульсов и коэффициента затухания поверхностных акустических волн – $K_{\text{зат}}$, 1/мкс; распространяющихся в материале исследуемых образцов.

Измерения магнитного шума производились при помощи анализатора напряжений и структуры металлов магнитно-шумового «Интроскан», основанного на эффекте Баркгаузена – возникновении скачков намагниченности при перемагничивании ферромагнитного материала [9–11].

Микротвердость измеряли по шкале Виккерса на микротвердомере DuraScan-20.

Результаты измерения акустических и магнитных характеристик и микротвердости металла ступиц РМК представлены в табл. 1. Результаты, полученные с образца №1, приняты за исходное состояние металла. Поэтому сопоставление производим с результатами именно этого образца.

Для образца №2, вырезанного вблизи трещины, характерны более высокие значения времени задержки ПАВ и коэффициента затухания, а также более низкие значения амплитуды. Значения коэффициента затухания имеют более значительное увеличение по сравнению с образцом №1, тогда как значения амплитуды приня-

того импульса ПАВ меньше. Стабильность значений акустических характеристик свидетельствует об отсутствии в металле дефектов. Однако их различие для образцов №1 и 2 говорит о том, что в структуре металла этих образцов имеются различия. Для образца №3, наблюдается незначительное увеличение времени задержки ПАВ по сравнению с образцом №1 – на 6 нс, что объясняется с одной стороны отличным химическим составом и неоднородностью структуры металла сварного шва с другой.

По результатам измерений были построены графики распределения времени задержки ПАВ (рис. 7), распределения интенсивности магнитного шума (рис. 8) и микротвердости (рис. 9) по поверхности зубчатого венца от наплавленного слоя к основному металлу.

Таким образом, спектрально-акустический метод контроля может применяться при контроле металла корпусов ступиц редуктора-мотора колеса, используемого в автомобиле БЕЛАЗ 7555.

Результаты, полученные магнитошумовым методом, подтверждают результаты контроля спектрально-акустическим методом. Соответственно, магнитошумовой метод также может быть использован при контроле металла корпусов ступиц редуктора-мотора колеса, используемого в автомобиле БЕЛАЗ 7555.

По линии сплавления отмечается наиболее высокие значения микротвердости, что свидетельствует о наличии твердой кристаллизационной прослойки, образованной из-за перегрева металла при наплавке и образования бейнитной структуры.

Значимое увеличение микротвердости на линии сплавления говорит о значительном перегреве основного металла, что является недопустимым и приводит к появлению трещин корпуса ступицы во время эксплуатации РМК.



Рис. 7. Распределение времени задержки ПАВ по поверхности зубчатого венца от наплавленного слоя к основному металлу



Рис. 8. Распределение интенсивности магнитного шума по поверхности зубчатого венца от наплавленного слоя к основному металлу

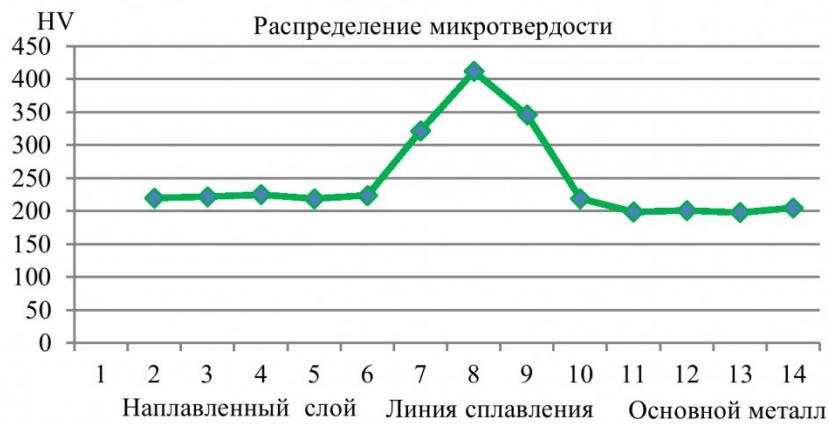


Рис. 9. Распределение микротвердости по поверхности зубчатого венца в направлении от наплавки к основному металлу

Выводы

- Выполнены исследования металла фрагментов образцов ступиц РМК, используемых в автомобилях БЕЛАЗ, неразрушающими и разрушающими методами контроля.
- Установлено, что использование базовой технологии для ремонта приводит к изменению структуры и твердости металла в зоне наплавки зубчатого венца, что приводит к разрушению металла (образование трещин на корпусе) в ходе

эксплуатации РМК и повторному ремонту.

3. Требуется разработка нового технологического процесса восстановительного ремонта ступиц РМК, учитывая недостатки базовой технологии.

Работа выполнена при финансовой поддержке

гранта РНФ, соглашение № 14-19-00724. Автор выражает благодарность Смирнову А. Н. за помощь при обсуждении результатов исследований и Ношкуну В. Ю. за предоставленные образцы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никитенко М. С. Разработка комплекса средств технической диагностики, восстановления и упрочнения элементов горнодобывающего оборудования / М. С. Никитенко, К. В. Князьков, Н. В. Абабков др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № S6. – С. 447–456.
2. Ношkin В. Ю. Исследование и разработка технологии ремонта корпуса ступиц редуктор-мотор колеса, используемого в автомобиле БЕЛАЗ 7555, с целью повышения эксплуатационных характеристик / Россия молодая: Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Кемерово, КузГТУ. - 2014.
3. Смирнов А. Н., Абабков, Н. В., Фольмер, С. В. Способ неразрушающего контроля длительно работающего металла эксплуатируемых элементов теплоэнергетического оборудования. Патент РФ, №2532141. 2014.
4. Муравьев В. В. Контроль остаточных напряжений в бандажах локомотивных колес методом акустоупругости / В. В. Муравьев, Л. В. Волкова, Е. Н. Балобанов // Дефектоскопия, 2013. – №7. – С. 22–28.
5. Смирнов А. Н. Повреждаемость сварных соединений. Спектрально-акустический метод контроля / А. Н. Смирнов, Н. А. Конева, Н. А. Попова и др. // М.: Машиностроение, 2009. – 278 с.
6. Муравьев В. В. Анализ сравнительной достоверности акустических методов контроля пруткового проката из рессорно-пружинных сталей. / В. В. Муравьев, О. В. Муравьева, В. А. Стрижак // Дефектоскопия, 2014. – №8. С. 3–12.
7. Смирнов А. Н. Структурно-фазовое состояние, поля внутренних напряжений и акустические характеристики в длительно работающем металле поврежденного барабана котла высокого давления / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков, Э. В. Козлов и др. // Контроль. Диагностика. – 2012. – №7. – С. 13–17.
8. Смирнов А. Н. Локальные поля напряжений в сварных соединениях, спектрально-акустический метод их выявления и синергетический подход к материаловедению / А. Н. Смирнов, С. В. Фольмер, Н. В. Абабков // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2009. – №3. – С. 28–38.
9. Махалов М.С. Определение остаточных напряжений упрочненного поверхностного слоя методом неразрушающего контроля // сборник трудов II-ой Международной научно-практической конференции «Инженерия поверхностного слоя деталей машин». – Минск: БНТУ, 2010. – С. 241–242.
10. Воробьева Н. В. О возможности применения акустических и магнитных методов для диагностики роторов турбин высокого давления / Н. В. Воробьева, Н. В. Абабков // Сборник докладов студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава университета по результатам IV Всероссийской, 57 научно-практической конференции молодых ученых «Россия молодая» – Кемерово, 2012. – С. 158–161.
11. Галямов Р. М. Опыт применения магнитошумового метода НК на заводе «Пермские моторы» / Р. М. Галямов, Ю. П. Паньковский // В мире неразрушающего контроля, 2005. – №1. – С. 42–43.

REFERENCES

1. Nikitenko, M. S. Razrabortka kompleksa sredstv tehnicheskoy diagnostiki, vosstanovlenija i uprochnenija jelementov gornodobyvajushhego oborudovanija / M. S. Nikitenko, K. V. Knjaz'kov, N. V. Ababkov dr. // Gornij informacionno-analiticheskij bjurleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal). – 2013. – № S6. – S. 447–456.
2. Noshkin, V. Ju. Issledovanie i razrabortka tehnologii remonta korpusa stupic reduktor-motor kolesa, ispol'zuemogo v avtomobile BELAZ 7555, s cel'ju povysheniya jekspluatacionnyh harakteristik / <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2014/materials/pdf/IITMA/SD/noshkin/index.html>.
3. Smirnov, A. N., Ababkov, N. V., Fol'mer, S. V. Sposob nerazrushajushhego kontrolja dlitel'no rabotajushhego metalla jekspluatiruemyh jelementov teploenergeticheskogo oborudovanija. Patent RF, №2532141. 2014.
4. Murav'ev, V. V. Kontrol' ostatochnyh naprjazhenij v bandazhah lokomotivnyh koles metodom akustouprugosti / V. V. Murav'ev, L. V. Volkova, E. N. Balobanov // Defektoskopija, 2013. – №7. – S. 22–28.
5. Smirnov, A. N. Povrezhdaemost' svarynh soedinenij. Spektral'no-akusticheskij metod kontrolja /

A. N. Smirnov, N. A. Koneva, N. A. Popova i dr. // M.: Mashinostroenie, 2009. – 278 s.

6. Murav'ev, V. V. Analiz sravnitel'noj dostovernosti akusticheskikh metodov kontrolja prutkovogo prokata iz ressorno-pruzhinnnyh stalej. / V. V. Murav'ev, O. V. Murav'eva, V. A. Strizhak // Defektoskopija, 2014. – №8. S. 3–12.

7. Smirnov, A. N. Strukturno-fazovoe sostojanie, polja vnutrennih naprjazhenij i akusticheskie harakteristiki v dlitel'no rabotajushhem metalle povrezhdennogo barabana kotla vysokogo davlenija / A. N. Smirnov, N. V. Ababkov, Je. V. Kozlov i dr. // Kontrol'. Diagnostika. – 2012. – №7. – S. 13–17.

8. Smirnov A. N. Lokal'nye polja naprjazhenij v svarynyh soedinenijah, spektral'no-akusticheskij metod ih vyjavlenija i sinergeticheskij podhod k materialovedeniju / A. N. Smirnov, S. V. Fol'mer, N. V. Ababkov // Vestnik KuzGTU. – 2009. – №3. – S. 28–38.

9. Mahalov, M.S. Opredelenie ostatochnyh naprjazhenij uprochnennogo poverhnostnogo sloja metodami nerazrushajushhego kontrolja // sbornik trudov II-oj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Inzhenerija poverhnostnogo sloja detalej mashin». – Minsk: BNTU, 2010. – S. 241–242.

10. Vorob'eva, N. V. O vozmozhnosti primenenija akusticheskikh i magnitnyh metodov dlja diagnostiki rotorov turbin vysokogo давления / N. V. Vorob'eva, N. V. Ababkov // Sbornik dokladov studentov, aspirantov i professorsko-prepodavatel'skogo sostava universiteta. po rezul'tatam IV Vserossijskoj, 57 nauchno-prakticheskoy konferencii molodyh uchenyh «Rossija molodaja» – Kemerovo, 2012. – S. 158–161.

11. Galyamov, R. M. Opty primeneniya magnitoshumovogo metoda NK na zavode «Permskie motory» / R. M. Galyamov, YU. P. Pan'kovskij // V mire nerazrushayushchego kontrolya, 2005. – №1. – S. 42–43.

Поступило в редакцию 4.02.2016

Received 4 February 2016