

УДК 621.791.92: 620.22

АНАЛИЗ МОДИФИКАЦИИ КЛАПАНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ROLLSCAN 300

А.А. Карамышев¹, А.Ю. Николаев²

Статья посвящена анализу упрочнения седла клапана при помощи наплавки. Для анализа структуры и свойств материала клапана используется неразрушающий метод шумов Баркгаузена. В статье подтверждается взаимосвязь амплитуды шумов Баркгаузена с твердостью и микроструктурой материала клапана.

*Ключевые слова: микроструктура, домены, шумы Баркгаузена, наплавка EnD0tecDO*04.*

ANALYSIS OF HIGH PRESSURE VALVE MODIFICATION USING ROLLSCAN 300

A. Karamishev, A. Nikolaev

Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia

The article is devoted to analysis of the valve saddle hardening with welding deposition. Non-destructive Barkhausen noise method was used to analyze the structure and properties of the valve material. The article confirms the interrelation between Barkhausen noise amplitude and hardness and microstructure of valve material.

*Key words: microstructure, domains, Barkhausen noise, welding deposition EnD0tecDO*04*

Введение

В настоящее время достаточно широко распространены в машиностроении методы повышения износостойкости элементов деталей наплавкой, которые сохраняют основу детали и производят замену изношенной или усиление её рабочей части путем наплавления сплава с повышенными прочностными свойствами.

На нефтегазовых и химических предприятиях сложным, и ответственным изделием является запорная арматура. Её технического состояния влияет на промышленную и экологическую безопасность этих предприятий.

Клапаны, работающие при высоких температурах и давлении, используются на трубопроводах и объектах с высоким уровнем опасности. Их используют в качестве запорного устройства для перекрытия потока нефтепродуктов, а также жидких и газообразных химических сред. Клапаны эксплуатируются при температуре до 400 °С и давлением до 32,0 МПа. Установлено, что причиной повреждения клапанов – растворения седел входных патрубков, – является абразивный износ и локальная эрозия твердыми частицами, которые присутствуют в транспортируемой среде [1].

Геометрические характеристики, наличие конструктивных концентраторов напряжений и внешние повреждения поверхности клапана ведут к его разрушению вследствие усталости металла. Из этого следует, что герметичность запорной арматуры оценивается по величине накопленных утечек и при накоплении утечек через седло клапана высокого давления приводит к непригодности его использования. Для упрочнения поверхности седла патрубка клапана высокого давления типа металл по металлу принято решение применить наплавку согласно рекомендациям стандарта [2, 3].

За счет местного сплавления наплавки и основного металла можно добиться равномерного распределения напряжений в наплавленном металле и в зоне термического влияния, тем самым, не подвергая основной материал критическим внешним воздействиям.

Теоретические основы метода шумов Баркгаузена

Ферромагнитные стали и другие ферромагнитные материалы состоят из намагниченных проделговатых микрообластей, которые называют доменами. Каждый домен намагничен по кристаллографическому направлению. Между ними имеются границы (доменные стенки), которые разделяют их друг от друга. При помещении исследуемого сплава в переменное магнитное поле, оно вызывает перемещение границ доменов. Во время движения доменных границ в расположенной рядом с матери-

¹ Карамышев Александр Александрович, студент кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: csercs.465-486@yandex.ru

Karamishev Alexander, student of Technology And Equipment Machine-Building Industries Department, e-mail: csercs.465-486@yandex.ru

² Николаев Андрей Юрьевич, магистрант кафедры технологии и оборудования машиностроительных производств, e-mail: andrnikolajev@gmail.com

Nikolaev Andrey, a postgraduate student of Engineering Technology and Production Equipment Department, e-mail: andrnikolajev@gmail.com

алом катушке возникают электрические импульсы. Метод шумов Баркгаузена основан на концентрации индуктивного изменения амплитуды шумоподобных импульсов (возникают в ферромагнитном образце при приближении магнитного поля) – шумов Баркгаузена. На амплитуду шумов Баркгаузена влияют любые явления, к ним относятся дефекты (инородные включения, трещины, остаточные напряжения и микроструктура). Внутренние напряжения влияют на способность доменов сориентироваться в направлении более легкого намагничивания. В большинстве сталей сжимающие напряжения вызывают уменьшение амплитуды шумов Баркгаузена – это происходит в результате магнитоупругого взаимодействия [4].

Известно, что при увеличении твердости и увеличении напряжений сжатия ферромагнитного материала уменьшается амплитуда шумов Баркгаузена (m_r), а при уменьшении твердости и увеличении напряжений растяжения m_r становится выше [4–7]. Следовательно, измеряя амплитуду шумов Баркгаузена, можно оценить остаточные напряжения в ферромагнитном материале или судить о состоянии микроструктуры образца.

Оборудование и исследуемые материалы

Измерения амплитуды шумов проводились на цифровом анализаторе шумов Баркгаузена Rollscan 300. Управление прибором осуществляется через персональный компьютер (ПК), к нему прилагается программное обеспечение ViewScan. Прибор оснащен измерительным датчиком для ручного измерения, он позволяет производить контроль на плоских поверхностях.

Точность и скорость записи m_r могут быть повышены благодаря навыкам работы с данным типом измерительных устройств. Датчик разработан для проведения измерений статистических и динамических шумов Баркгаузена. Форма и исполнение датчиков может быть разной и зависит от формы поверхности измеряемой детали. Прибор преобразует сигналы измерений в цифровую форму при помощи встроенного процессора для обработки сигналов. Управляющая программа ViewScan позволяет производить настройку и формировать отчеты на ПК. Сигнал в соответствии с параметрами, определенными в окне изменений или шаблоне выводится в специальном окне приложения. Rollscan 300 может предупредить оператора о принятии положительного или отрицательного решения в зависимости от соответствия полученного сигнала с заданными пределами измерений. Сигналы шумов Баркгаузена можно сохранить в программном обеспечении в файл с соответствующим расширением (*.plm). По окончании работы программа формирует отчет, который можно вывести на печать или добавить в отчет. Перед выполнением измерений шумов Баркгаузена проводится калибровка прибора, для устранения возможности выхода измеряемой величины за пределы контроля, по образцам-эталоном с заранее известными параметрами свойств материала (остаточные напряжения).

Исследуемый клапан был изготовлен из конструкционной стали 09Г2С. Химический состав этой стали приведен в табл. 1 [8].

Таблица 1

Химический состав стали 09Г2С

Массовая доля элемента, %										
C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As	Fe
до 0,12	0,5–0,8	1,3–1,7	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,3	до 0,008	до 0,3	до 0,08	остальное

Марганец используется в этой стали для нейтрализации вредного влияния серы, повышения прочности. Кремний повышает предел текучести [9].

Для упрочнения седла клапана была выбрана наплавочная проволока марки EnD0tecDO*04. Наплавка порошковой проволокой EnD0tecDO*04 предназначена для покрытий стойких против сложных явлений износа таких, как: трение типа металл-металл, коррозия и высокотемпературное окисление. Она характеризуется высокой твердостью: 480...520 HV₃₀ [2]. Кобальт позволяет работать при высоких температурах без разупрочнения. Хром улучшает коррозионную стойкость и термостойкость стали. Использование наплавки EnD0tecDO*04, легированной кобальтом, позволит добиться требуемой долговечности клапана.

Химический состав металла, наплавленного EnD0tecDO*04 (см. табл. 1), определялся спектрофотометром UNIKO 1201 (содержание химических элементов) и анализатором METABAK CS-30 (содержание серы и фосфора).

Опытные образцы созданы из ½ заготовок клапанов (разрезанные вдоль). Каждый из образцов представляет для анализа определенный этап создания клапана:

1) образец заготовки клапана, созданный после придания ему начальной формы полого цилиндра без термической обработки (ТО);

- 2) образец заготовки клапана с наплавкой EnDOtecDO*04 без ТО;
- 3) образец заготовки клапана с наплавкой EnDOtecDO*04 после ТО.

Таблица 2

Химический состав наплавки EnDOtecDO*04

Массовая доля элемента, %									
C	Si	Mn	Co	Cr	Mo	W	Cu	P	S
0,14	0,21	0,31	8,16	6,92	1,63	–	–	0,012	0,009

Для получения более высоких характеристик наплавляемой части клапана применялась термическая обработка, состоящая из закалки и отпуска:

- 1 – температура нагрева для закалки 1040 °С в течении 60 мин, охлаждение в масле;
- 2 – отпуск проводился при 612 °С в течении 60...70 мин, охлаждение в масле.

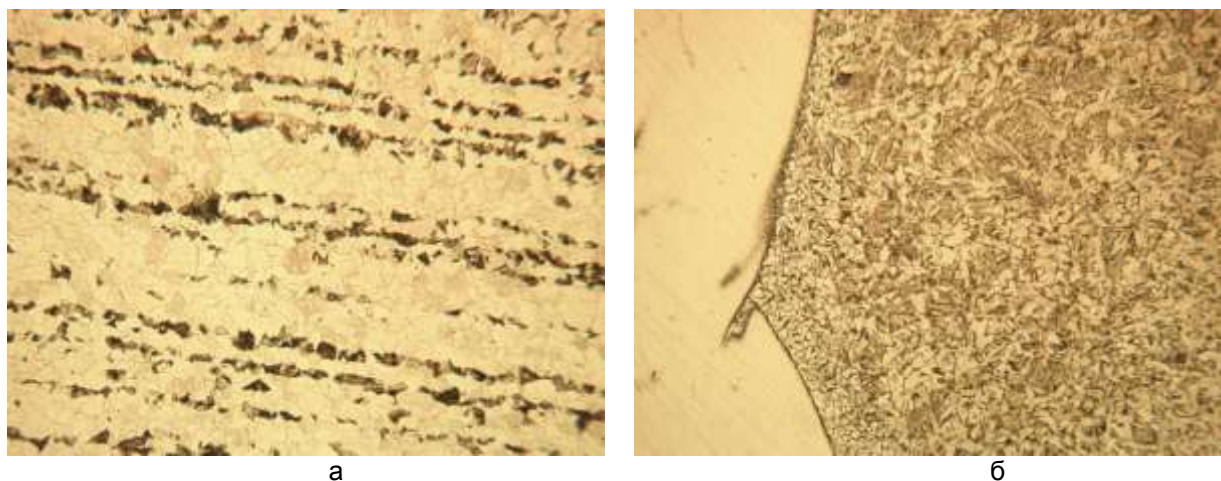
Для сохранения геометрических характеристик клапана излишки сплава удалялись механическим способом.

Методика эксперимента и результаты исследований

В рамках настоящего исследования проводилось изучение микроструктуры материала клапана и наплавленного слоя на металлографическом микроскопе МЕТ-3 и измерения амплитуды шумов Баркгаузена³.

Для выявления микроструктуры использовали реактивы: 5 % раствор азотной кислоты в спирте (для стали 09Г2С); – водный 10 % раствор смеси азотной и плавиковой кислоты.

Микроструктура стали 09Г2С, из которой изготовлен клапан, состоит из феррита и перлита (см. рис. 1).



**Рис. 1. Микроструктура стали 09Г2С до термообработки, х100:
а – основной металл, феррит (светлые зерна), перлит (темные зерна);
б – наплавка и зона термического влияния**

В микроструктуре стали 09Г2С наблюдается «строчечность» в расположении перлита (рис. 1, а); в зоне термического влияния (ЗТВ) до ТО – видманштеттова структура – игольчатый феррит (рис. 1, б).

Структура наплавки состоит из дендритов, а после ТО – представляет собой отпущенный мартенсит (см. рис. 2, а).

В-зоне термического влияния (ЗТВ) сохраняется видманштеттова структура (рис. 3), после ТО зерно становится мельче. Граница между основным и наплавленным металлом более размыта, чем до термообработки. Значительно уменьшается твердость наплавки [2].

Измерения шумов Баркгаузена проводились на внешней поверхности образцов патрубка клапана в трех точках (рис. 4) – в зоне наплавки, в ЗТВ, в основном металле.

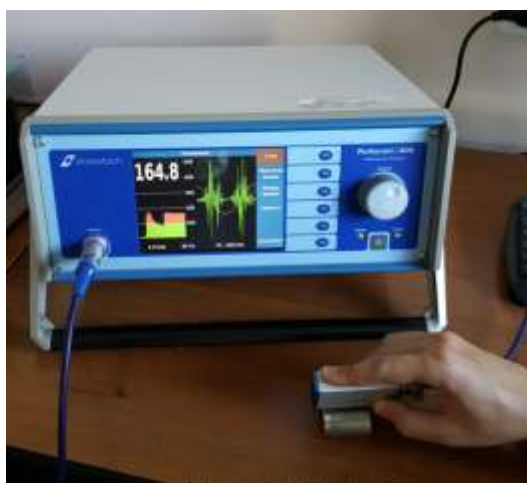
³ Исследования проводились в НИЛ «Исследования технологических остаточных напряжений и деформаций», ИРНТУ [10]



Рис. 2. Микроструктура наплавки после термообработки, x200: мартенсит



Рис. 3. Микроструктура зоны термического влияния, x50: феррит + перлит



а



б

**Рис. 4. Измерение шумов Баркгаузена в клапане:
а – Rollscan 300; б – положение датчика при измерении**

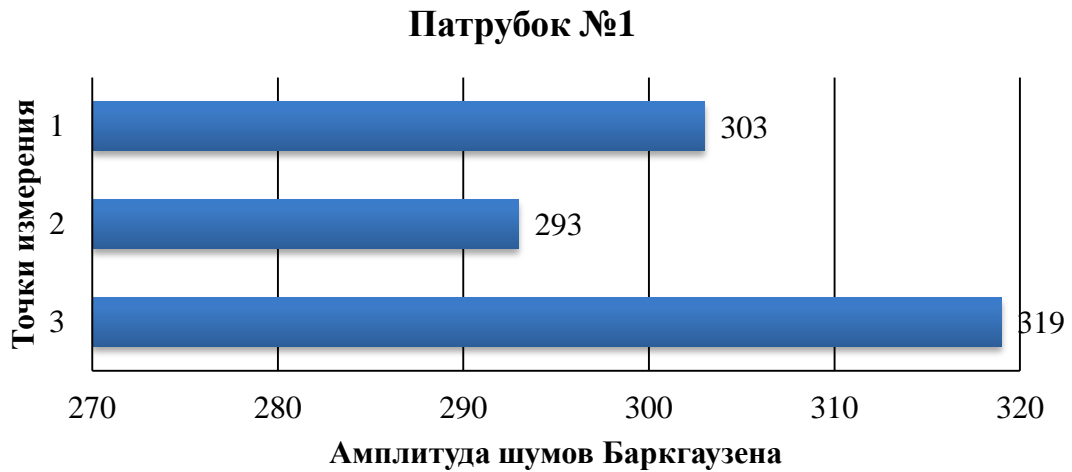
В программе ViewScan были установлены параметры измерения: время произведения замеров – 5 сек, намагничивающее напряжение – 4 В, частота – 80 кГц; сигналы в диапазоне – произвольные. Перед проведением измерений требовалось убедиться в чистоте поверхности, на которой проводится измерение, и установить образец на твердую поверхность так, чтобы он был устойчив. Для каждого измерения строился отдельный график в программе ViewScan в течении заданного промежутка времени от начала записи.

На рис. 5 показаны результаты измерения шумов Баркгаузена в патрубках клапана.

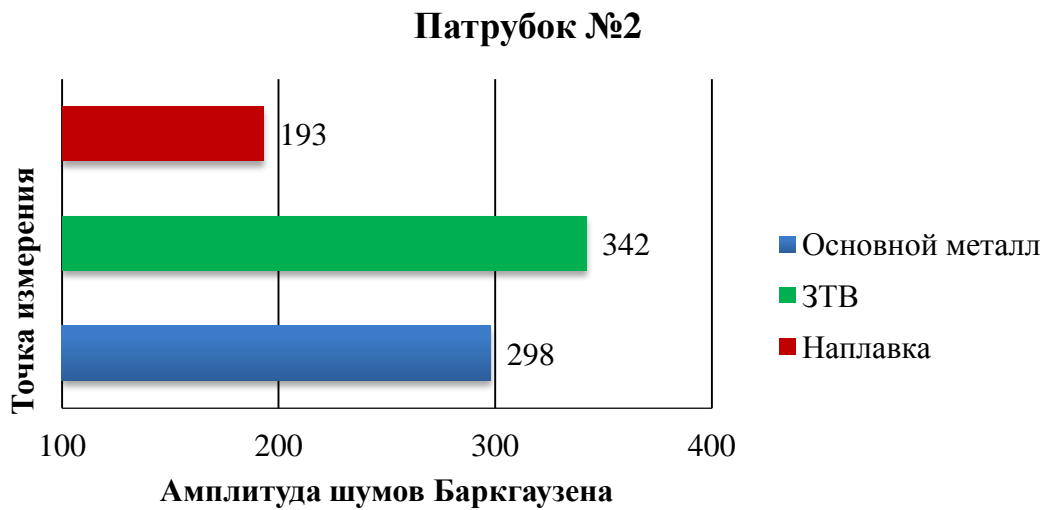
Для патрубка № 1 наплавка не проводилась, амплитуда шумов в разных точках изменялась от 293 до 319.

Из-за повышенной твердости наплавки амплитуда шумов ниже по сравнению с амплитудой в ЗТВ и в основном металле (патрубок № 2). Дендриты наплавленного металла при термообработке превращаются в легированный малоуглеродистый отпущенный мартенсит, поэтому амплитуда шумов в наплавке патрубка №3 выше, чем в патрубке № 2 (см. рис. 5, б, в).

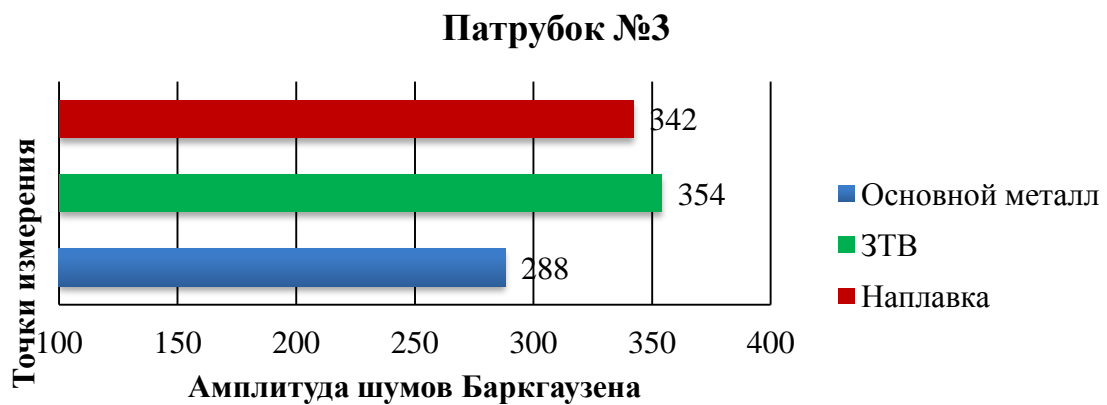
Результаты измерения шумов Баркгаузена в основном металле третьего патрубка показали меньший разброс значений. Это означает, что сталь патрубка после закалки и отпуска приобрела равновесное состояние.



а



б



в

Рис. 5. Изменение амплитуды шумов Баркгаузена в исследуемых образцах: а, б, в – 1-й, 2-й, 3-й патрубки соответственно

Заключение

По полученным данным можно утверждать, что наплавка из EnD0tecDO*04, обладая высокой твердостью, уменьшит абразивный износ седла клапана высокого давления. Коррозионная стойкость наплавки EnD0tecDO*04, благодаря содержанию легирующих элементов, в совокупности с её высокой твердостью даст значительный прирост к износостойкости седла запорной арматуры, а следовательно, и к её долговечности. Метод измерения шумов Баркгаузена является неразрушающим, он является достаточно универсальным и может применяться как в единичном, так и в многосерийном контроле структуры и свойств клапанов высокого давления.

Библиографический список

1. Зайдес С.А., Машуков А.Н., Татаринев А.Д. Оценка прочности и ресурса запорного узла клапанов высокого давления по результатам измерения твердости // Вестник ИргТУ. 2016. № 5 (112). С. 37–44.
2. Износостойкие материалы и твёрдые сплавы на основе кобальта. Продукты и технология сварки: каталог продукции компании «Castolin Eutectic» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.stechno.ru/upload/iblock/c3a/c3a7fe01acc335dc57bb492c5e98db2b.pdf> (дата обращения 21.06.2016)
3. Лосев А.С., Еремин Е.Н., Маталасова А.Е. Применение боридных соединений в порошковой проволоке для наплавки узлов запорной арматуры: материалы VII междунар. науч.-техн. конф. «Современные проблемы машиностроения» (Томск, 11–13 ноября 2013 г.) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2013/C45/049.pdf>
4. Николаева Е.П. Применение метода шумов Баркгаузена для контроля упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15, № 6-2. С. 428–431.
5. Гридасова Е.В., Николаева Е.П. Исследование улучшаемой стали 30ХГСА, обработанной дробью, методами рентгеноструктурного анализа и измерения шумов Баркгаузена: материалы 5-й Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием «Жизненный цикл конструкционных материалов» (Иркутск, 27–30 апреля 2015 г.). Иркутск: Изд-во ИРНТУ, 2015. С. 76–83.
6. Николаева Е.П. Исследование структуры конструкционной стали Ст3пс после обработки аргонодуговой плазмой // В сб.: Пром-Инжиниринг труды II междунар. науч.-техн. конф. «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет). 2016. С. 191–195.
7. Николаева Е.П., Гридасова Е.В., Герасимов В.В. Применение рентгеноструктурного анализа и шумов Баркгаузена для исследования конструкционной стали 30ХГСА после дробе-ударной обработки // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17, № 2-1. С.125–132.
8. Сталь марки 09Г2С/ Центральный metallicheskiy-portal.ru/metallicheskiy-portal РФ [Электронный ресурс]. URL: http://metallicheskiy-portal.ru/marki_metallov/stk/09G2S
9. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: учебник для вузов. М.: Машиностроение, 1990. 528 с.
10. НИЛ Исследования технологических остаточных напряжений и деформаций [Электронный ресурс]. URL: <http://www.istu.edu/structure/54/3218/> (дата обращения 27.06.2016).