

УДК 62-761

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЗАЩИТНЫХ ВТУЛОК ГОРЯЧИХ НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ НАСОСОВ

Березин Евгений Кимович¹, доцент кафедры ПТМ и МР

e-mail: berezinek@mail.ru

Потапов Ромео Залиевич^{1,2}, магистрант

e-mail: Roma_potapov00@mail.ru

¹Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

²«ПромМаш Тест Инжиниринг», отдел НПО г. Нижний Новгород, Департамент КП и ПБ, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В работе исследуется повышение надежности защитных втулок с износостойким покрытием для нефтеперерабатывающих насосов за счет применения методик выявления дефектов с помощью ультразвукового контроля (УЗК). Разработаны и сопоставлены два метода УЗК – эхо-метод и теневой метод.

Ключевые слова: Защитные втулки, износостойкие покрытия, ультразвуковой контроль, надежность, контроль качества.

ENHANCING THE OPERATIONAL RELIABILITY OF PROTECTIVE BUSHINGS IN HOT OIL TRANSFER PUMPS

Evgeny K. Berezin¹, Associate Professor at the Department of Hoisting and Transport Machines and Repair Machines

e-mail: berezinek@mail.ru

Romeo Z. Potapov^{1,2}, Master's Degree student

e-mail: Roma_potapov00@mail.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

² "PromMash Test Engineering", NPO Department, Nizhny Novgorod, Department of KP and PB, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The paper investigates the improvement of the reliability of protective sleeves with a wear-resistant coating for oil refining pumps by using ultrasonic testing (UT) techniques to detect defects. Two UT methods, the echo method and the shadow method, have been developed and compared.

Keywords: Protective sleeves, wear-resistant coatings, ultrasonic testing, reliability, quality control.

Обеспечение безопасной эксплуатации насосного оборудования, предназначенного для перекачки нефтепродуктов при температурах до 400°C, требует тщательного

проектирования уплотнительных узлов. В конструкции таких узлов, использующих сальниковую набивку, на приводном валу предусматриваются специальные защитные втулки. Эти втулки, являясь элементами, подверженными интенсивному износу, относятся к категории расходных материалов. Их ускоренный износ обусловлен совокупностью факторов: постоянным трением, а также адгезионным, окислительным и коррозионно-механическим воздействием рабочей среды. Взаимодействие сальниковой набивки с внешней поверхностью рабочей части защитной втулки приводит к возникновению как нормальных давлений от уплотнительного материала, так и значительных скользящих контактных напряжений, вызванных силами трения. Повышение эксплуатационной долговечности и надежности данных узлов является приоритетной задачей, напрямую влияющей на безопасность эксплуатации оборудования, особенно в условиях повышенной пожарной и взрывной опасности.

Обычно для производства защитных втулок насосов, перекачивающих нефть, используют специальную нержавеющую сталь марки 95X18. Эта сталь относится к высоколегированным, хромистым, коррозионностойким и имеет аустенитно-мартенситную структуру, что соответствует стандарту ГОСТ 5632-2014. После термической обработки (закалка с низкотемпературным отпуском) эта сталь приобретает твердость около 55 единиц по шкале Роквелла С (HRC). Однако сталь 95X18 является дефицитным и дорогостоящим материалом, к тому же склонна к образованию трещин в процессе закалки. Это обуславливает низкий коэффициент полезного использования металла (не более 0,4) при производстве втулок.

В качестве альтернативы, для замены этой стали, предлагается использовать более доступную конструкционную легированную сталь 30ХГСА (ГОСТ 4543-2016). Сравнительные данные по химическому составу и механическим свойствам сталей 95X18 и 30ХГСА представлены в таблицах 1 и 2.

На основе анализа доступной литературы и результатов испытаний опытных образцов, для создания износостойкого покрытия на наружной поверхности втулок, изготовленных из стали 30ХГСА, был выбран порошковый материал ПГ-10К-01 (ГОСТ 9722-97). Нанесение этого покрытия осуществлялось с помощью газопламенной горелки CastoDin DS 8000 производства фирмы CastoDin+Eutectic. Последующее оплавление покрытия производилось плавящей горелкой (набор 80570) того же производителя. После проведения механической обработки (шлифовки) толщина нанесенного износостойкого покрытия составила 1 мм с каждой стороны.

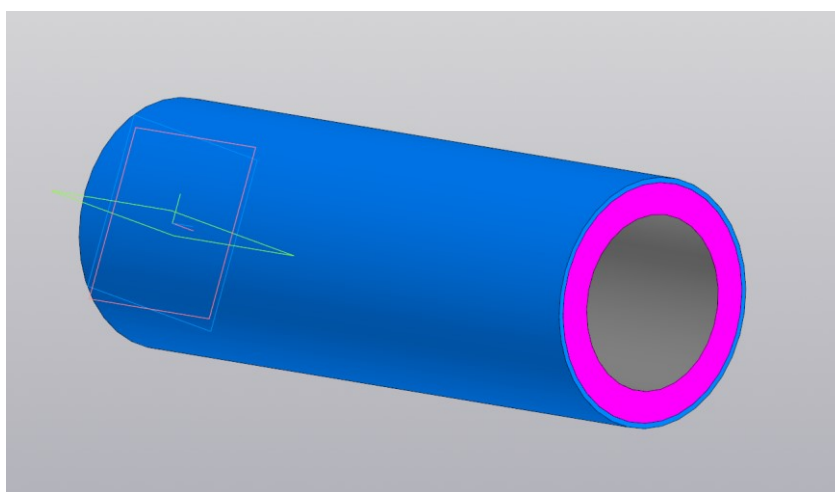


Рисунок 1 – Защитная втулка с износостойким покрытием

Таблица 1. Химический состав сталей

Марка стали	ГОСТ	Массовая доля элементов в, %					
		Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Сера	Фосфор
95X18	5632-2014	0.9 — 1	до 0.8	до 0.8	17 — 19	до 0.025	до 0.03
30ХГСА	4543-2016	0.28–0.34	0.90-1.20	0.80-1.10	0.80–1.10	до 0,035	до 0,035

Таблица 2. Механические свойства стали

Марка стали	Предел текучести, МПа	Предел прочности при растяжении, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение поперечного сечения, %	Ударная вязкость, кДж/м ²	Твердость, НВ	Примечание
95X18 ГОСТ 5632-2014	780	980	10	45	590	(55-59)	
30ХГСА ГОСТ 4543-2016	900	1100	11	45	500	240-280	Горячекатаная

Таблица 2 содержит сведения о твердости стали 95X18, достигнутой после термической обработки, включающей закалку при 1500°C и последующий отпуск при 300°C. Также в этой таблице представлены механические характеристики стали 30ХГСА, полученные после закалки в диапазоне температур 880-920°C и проведения среднего отпуска при 500-600°C. Материал ПГ-10К-01, предназначенный для порошковой металлургии, описан в таблице 3. Этот самофлюсующийся материал производится в форме мелких гранул размером 40-100 мкм.

Таблица 3. Материал ПГ-10К-01

Марка стали	Завод изготовитель	Массовая доля, %							Твердость, HRC	Температура плавления °C
		Cr	Si	W	C	B	Fe	Ni		
ПГ-10К-01 ГОСТ 9722-97	ООО НПК «Специальная металлургия»	22	1.1	3.9	1.4	1.5	2	30	45-50	1200

Для обеспечения долговечности защитных втулок насосов для перекачки горячей нефти, крайне важно гарантировать отсутствие дефектов после нанесения на их внешнюю поверхность защитного покрытия. Исследование причин выхода из строя втулок выявило, что наиболее распространенной и критической проблемой являются трещины, локализующиеся как в поверхностном слое, так и под ним. В условиях динамических нагрузок и температурных флуктуаций в покрытии формируются микродефекты. В процессе эксплуатации эти дефекты претерпевают рост, что приводит к преждевременному разрушению материала и отказу втулок, создавая потенциальную угрозу возгорания перекачиваемого продукта.



Существующие методики ультразвукового контроля (УЗК), например, описанные в [3], имеют ряд ограничений, включая отсутствие четких критериев приемки и спецификаций по допустимым параметрам дефектов. Контроль с применением продольных волн оказывается затруднительным для тонкослойных покрытий, а рекомендованный в [4-6] метод обнаружения поднаплавочных трещин с использованием головных волн не обеспечивает полного охвата всей глубины. Таким образом, существует острая потребность в разработке простого и эффективного метода контроля трещин, проникающих на всю глубину наплавки. Поверхностные волны, характеризующиеся глубиной проникновения в 1,5-2 длины волны, предоставляют возможность контроля всего сечения покрытия.

В настоящей работе были апробированы два метода УЗК: эхо-метод и теневой [7]. Для верификации эффективности контроля трещин был изготовлен калибровочный образец (КО) на основе заготовки рабочей втулки, с идентичной толщиной наплавки и подготовкой поверхности. На КО были смоделированы дефекты (трещины, перпендикулярные оси вращения) путем создания пропилов различной глубины. Эти пропилы использовались для установления зависимости между амплитудой ультразвукового сигнала (отраженного от пропила или прошедшего через него) и глубиной дефекта. Полученные зависимости служат основой для оценки чувствительности контроля и определения критериев приемки.

Реализация эхо-метода проводилась с использованием дефектоскопа Master A1212 и преобразователя с частотой 4 МГц, генерирующего поверхностные волны. Проверка работоспособности метода на КО с микротрещиной (ширина раскрытия 4,2 мкм, глубина 300-350 мкм) показала уверенный эхо-сигнал на уровне 30 дБ. Аналогичные измерения были выполнены на КО с имитаторами трещин (пропилами) глубиной от 100 до 500 мкм, как представлено на рис. 2.



Рисунок 2 – Определение уровня эхо-сигнала от имитатора трещины (пропила)

Уровень эхо сигнала от пропила глубиной 100 мкм считался браковочным и составил в представленной реализации установки 35 дБ.



Рисунок 3 – Ультразвуковой контроль наплавов в КО с предельной чувствительностью 100 мкм

Метод ультразвукового контроля наплавов с применением поверхностных волн в режиме эхо-метода достигает предельной чувствительности в 100 мкм, что было подтверждено представленной системой. Особенно эффективно обнаруживаются планарные дефекты, например, трещины, ориентированные перпендикулярно ультразвуковой волне, допускается отклонение до 10 градусов [3, 4].

Однако, для устранения недостатков этого подхода используется теневой метод, иллюстрированный на рис. 4. Этот метод, работающий в режиме прохождения сигнала, использует два преобразователя, интегрированных в один узел.

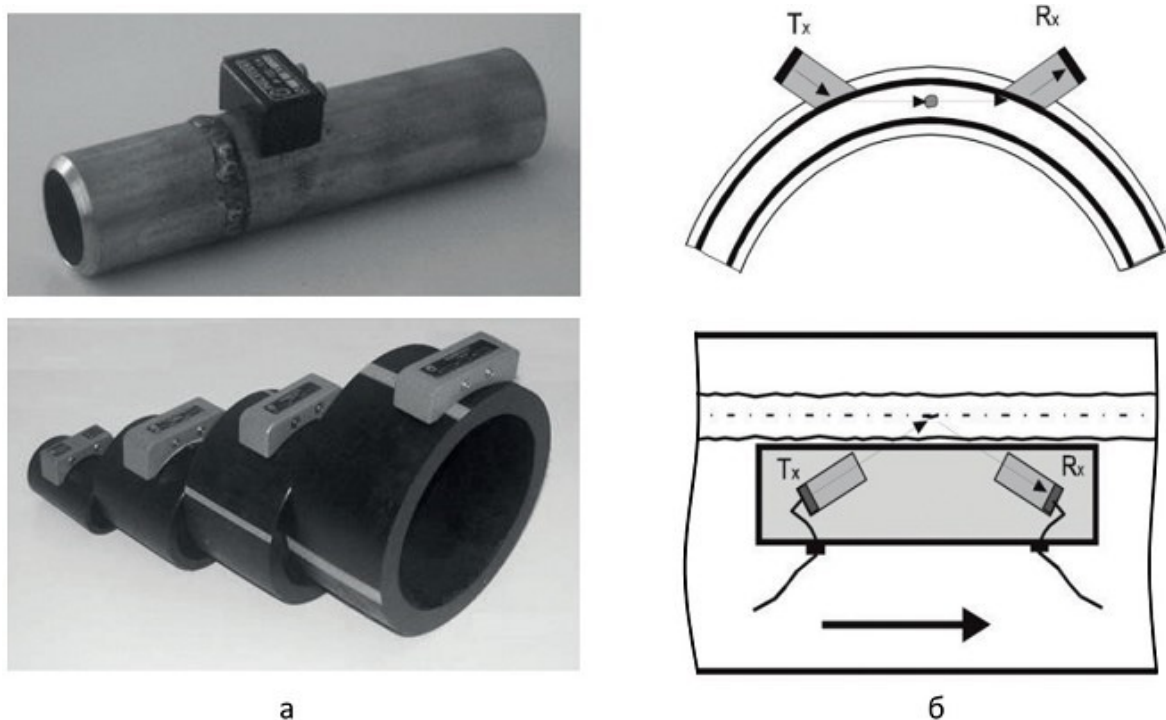


Рисунок 4 – Схема контроля наплавки поверхностными упругими волнами теньвым методом

Оценка несплошностей проводится по амплитудному критерию и условной протяженности, глубина залегания несплошности не определяется. Если на пути распространения волн нет дефектов, таких как трещины или иные включения, прошедший сигнал будет обладать максимальной амплитудой. Обнаружение препятствий на пути волны влечет за собой снижение амплитуды прошедшего сигнала. Несплошности выявляются с одинаковой чувствительностью независимо от глубины залегания. Эластичный протектор обеспечивает поглощение поверхностной волны и плотное прилегание преобразователя к поверхности втулки.

Один преобразователь служит источником упругих волн, второй приемником. При отсутствии на пути распространения волны трещин или других неоднородностей амплитуда прошедшего сигнала максимальна. Наличие препятствий на пути распространения волны приводит к уменьшению амплитуды прошедшего сигнала. Установка эксперимента, позволяющей более точно, чем в первом случае с Master 1212 определять амплитуду прошедшего сигнала. Сдвоенный блок преобразователей устанавливается на поверхность КО. С помощью дефектоскопа А1212 осуществляется возбуждение излучающего ПЭП и запуск развертки осциллографа. С приемного ПЭП сигнал поступает на измеритель амплитуды прошедшего сигнала, в качестве которого использовался лабораторный осциллограф Rigol MSO1104.

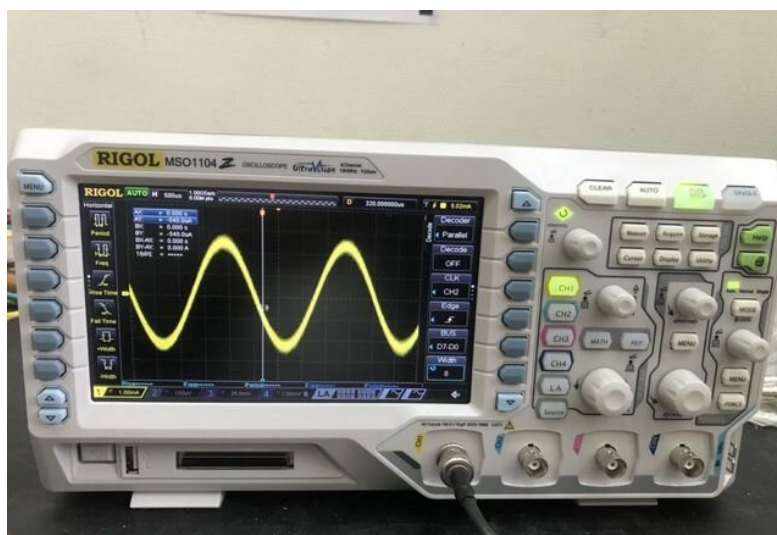


Рисунок 5 – Чувствительный измеритель амплитуды прошедшего сигнала

Идентичность условий тестирования (включая конструктивные особенности и параметры ПЭП, а также маршрут следования импульса) позволила установить прямую зависимость уровня принятого сигнала от размеров выявленных несплошностей, будь то трещины или иные неоднородности. Применительно к КО, ослабление сигнала происходит вследствие пропила (имитирующего дефект), который создает барьер для распространения волны. В отличие от эхо-метода, здесь любые дефекты наплавки и трещины, имеющие ориентацию под углом более 10° к направлению акустического зондирования, приводят к ослаблению волны, достигающей приемного преобразователя. На рисунке 6 проиллюстрирована зависимость уровня сигнала от глубины имитатора трещины.



Рисунок 6 – Зависимость уровня прошедшего сигнала от глубины имитатор трещины

Исследование полученных сведений выявило, что амплитуда сигнала обладает меньшей восприимчивостью к смещениям в глубине залегания дефектов. Это обусловлено тем фактом, что все присутствующие включения, вне зависимости от их положения относительно оси зондирования, принимают участие в генерации регистрируемого отклика. Таким образом, возрастание информационного потенциала данного метода способствует укреплению надежности проводимых исследований.

Принимая во внимание способность осциллографа фиксировать величину напряжения на приемном преобразователе, можно сделать вывод о превосходстве теневого метода. Он продемонстрировал более обширный диапазон измеряемых значений и чувствительность, превосходящую возможности эхо-метода.

Вывод: Данный теневой метод наплавки обладает помехоустойчивостью и эффективно контролирует качество процесса. Он способен обнаруживать разноориентированные трещины и иные дефекты, что обеспечивает высокий стандарт контроля. Разработанная методика, в свою очередь, предоставляет возможность упростить и повысить эффективность процедуры контроля наплавки при производстве втулок.

Список литературы:

1. Глебов В.В., Березин Е.К., Молочная Т.В. Анализ причин разрушения защитной гильзы нефтеперекачивающего насоса. В сб.: Новые технологии в машиностроении, материаловедении и высшем образовании. - Н.Новгород: НГТУ, 2001. - с. 254-256.
2. Березин Е.К. Применение газотермического напыления в технологии изготовления защитных втулок узлов уплотнений с целью повышения их работоспособности: Диссертация кандидата технических наук: 2003 г./Е.К. Березин/ НГТУ Н.Нов 2003. 176 с.
3. ISO 17405:2014. Неразрушающий контроль. Ультразвуковой контроль. Метод испытания плакировок, образованных сваркой, прокаткой и взрывом
4. А.с. 491092. Способ ультразвукового контроля качества материалов / Н. П. Разыграев, И. Н. Ермолов, В. Г. Щербинский // Бюл. изобр. 1975. № 4.
5. ГОСТ Р 50.05.02–2018. Система оценки соответствия в области использования атомной энергии. Оценка соответствия в форме контроля. Унифицированные методики. Ультразвуковой контроль сварных соединений и наплавленных покрытий. М.: Стандартинформ, 2018. 90 с.

6. Батов Г. П., Жаринов С. Е., Чернов В. С., Юрьев А. Е., Полозюков Д. А. Применение фазированных решеток и дифракционно-временного метода для контроля качества антикоррозионной наплавки внутри цилиндрических отверстий (каналов) диаметром от 42 до 440 мм в поковках//Контроль.Диагностика.2024.Т.7.С.38-45. DOI: 10.14489/td.2024.07.pp.038-04

7. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 3: Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. - М.: Машиностроение, 2004. - 864 с.

