

Магнитный метод контроля для оценки равномерности затяжки болтов фланцевых соединений*

Тукаева Р.Б., Прохоров А.А., Миннихметов О.Ю.
Уфимский государственный нефтяной технический университет
г. Уфа, Российская Федерация
tukaeva_rb@mail.ru

Аннотация. Фланцевые соединения относятся к самым распространенным разъемным соединениям, которые используются в различных отраслях промышленности. К таким соединениям предъявляются требования прочности, долговечности и герметичности. Обеспечение данных требований во многом определяется равномерностью затяжки болтов. Во фланцевых соединениях необходимо стремиться к тому, чтобы все болты (шпильки) были затянуты с одинаковой силой. Неравномерная затяжка болтов может привести к многочисленным негативным последствиям, например, к перекосу деталей, неравномерному сжатию прокладки и последующему пропуску продукта, искривлению соединяемых деталей, возникновению пластических деформаций крепежных деталей и даже разрыву болтов или шпилек. Поэтому контроль усилия затяжки стальных шпилек и болтов чрезвычайно важен для обеспечения надежности соединения, причем не только при сборке и монтаже узлов и деталей любого оборудования, но и во время его эксплуатации. Настоящая статья посвящена изучению и апробированию одного из современных и универсальных методов контроля усилия затяжки болтов (шпилек) – магнитного, основанного на контроле структурно - чувствительного магнитного параметра – остаточной намагниченности металла. Целью настоящих исследований является испытание индикатора механического напряжения металла ИН-01м сканирующего типа для замера усилия затяжки шпилек на реальных объектах во время их эксплуатации.

Ключевые слова: фланцевое соединение, болт, шпилька, усилие затяжки, магнитный метод, индикатор механического напряжения, напряженность поля остаточной намагниченности.

ВВЕДЕНИЕ

Фланцевые соединения являются основным видом соединений при сопряжении трубопроводов с оборудованием. Разгерметизация фланцевых соединений приводит к опасным последствиям, которые могут завершаться пожаром или взрывом. Поэтому правильный выбор усилия затяжки крепежных элементов и реализация на практике является актуальной задачей.

Ошибки при завинчивании болтовых соединений носят случайный характер и зависят от точности затяжки. Отклонения от расчетной затяжки могут приводить как к перетяжке, так и к недостаточной затяжке соединения. Напряжение в сечении болта при перетяжке вызывает разрушение болта. Недостаточная затяжка приводит к сдвигу фланцев, раскрытию стыков, нарушению герме-

тичности, протечкам и другим нарушениям, которые в результате приводят к увеличению затрат на обслуживание оборудования, сокращению срока службы, а также к загрязнению окружающей среды. Основной причиной перетяжки или недостаточной затяжки является ошибка при монтаже, при этом недостаточная затяжка и перетяжка имеют равную вероятность.

Одним из основных направлений исследований в области резьбовых соединений фланцев было и остается совершенствование методов и средств контроля силы затяжки. Обзор литературы показал, что в настоящее время применяется много методов, среди наиболее распространенных такие как:

- контроль силы затяжки по моменту;
- контроль силы затяжки по углу поворота болта (гайки);
- контроль силы затяжки по величине деформации стержня болта (шпильки);
- контроль силы затяжки по величине деформации шайбы и другие.

Подробный анализ и сравнение указанных методов приведен в работе [1], который показал, что практически все методы контроля обладают погрешностью обеспечения требуемой величины силы затяжки, а также недостатки и ограничения в применении.

Так, например, при использовании метода затяжка с контролем величины крутящего момента с помощью предельных или динамометрических ключей, обеспечивается необходимый момент затяжки ($M_{зат}$), который может быть выражен в виде суммы трех составляющих

$$M_{зат} = M_1 + M_2 + M_3 \quad (1)$$

где M_1 – момент, необходимый для создания растягивающих напряжений в болте; M_2 – момент трения в резьбе; M_3 – момент трения по торцу гайки (или головки болта).

Однако, как показывают исследования [2], зависимость $M_{зат}$ является функцией коэффициента трения по торцу гайки и коэффициента трения в резьбе, которые в реальных резьбовых соединениях могут изменяться в пределах от 0,05 до 0,5, что приводит к погрешности усилия затяжки до 25%.

Наибольшее влияние на коэффициенты трения оказывают род материала сопрягаемых деталей, шероховатость поверхностей сопряжения, сорт смазки и вид антикоррозионного покрытия (окисление, цинкование, кадмирование, серебрение, омеднение и др.). Поэтому достоверность определения необходимого крутящего момента

* Статья публикуется по рекомендации программного комитета Международной научно-технической конференции "Пром-Инжиниринг" (ICIE-2017), <http://icie-rus.org>

(точность рассматриваемого способа контроля усилия затяжки) будет зависеть от того, насколько принятые для расчета коэффициенты трения соответствуют их действительным значениям.

Кроме этого, анализ, проведенный нами, показал, что рассмотренные методы, в основном, применяются на стадии монтажа (сборки) оборудования и их невозможно применить для оценки усилия затяжки во время эксплуатации оборудования без его остановки. Востребованность таких методов не вызывает сомнений. Также, на наш взгляд, весьма интересны исследования, которые могли бы установить зависимость изменения усилия затяжки от условий эксплуатации оборудования. Известно, что во время работы, при вибрациях, переменной или ударной нагрузке может происходить ослабление резьбового соединения и самоотвинчивание деталей и, соответственно, изменение усилия затяжки, которое невозможно измерить указанными выше способами.

В этом случае возможно применение магнитных методов контроля, которые успешно применяются для определения работоспособности, ресурса и предельного состояния металла [3-6]

Наиболее приемлемым методом для решения указанных выше проблем, на наш взгляд, является контроль равномерности затяжки методом остаточной намагниченности [1] с использованием индикатора механического напряжения металла ИН-01м сканирующего типа, поскольку он обладает рядом преимуществ перед другими:

- прибор имеет небольшие размеры, что позволяет применять его как в цеховых, так и в полевых условиях;
- обладает высокой локальностью и производительностью магнитного контроля НДС металла;
- возможен контроль усилия затяжки болтов или шпилек, как при монтаже (сборки), так и во время эксплуатации оборудования при существенной ограниченности рабочего пространства;
- имеет небольшую погрешность измерения;
- прибор имеет широкую область применения и большие функциональные возможности (автоматическая регистрация результатов магнитного контроля и запись в электронную память, передача результатов измерений на персональный компьютер с программным обеспечением для анализа, интерпретация и оформления результатов контроля – формирование таблиц, графиков и контурных диаграмм.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МАГНИТНОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ УСИЛИЯ ЗАТЯЖКИ

Аналитическая зависимость между усилием затяжки стального болта (шпильки) F и крутящим моментом M имеет следующий вид [7]:

$$M = F \left[\frac{P}{2} \left(\frac{P}{\pi d} + \frac{\mu_1}{0,866} \right) + \mu_2 \frac{D^3 - d^3}{3(D^2 - d^2)} \right] = F k_2 \quad (2)$$

где d – средний диаметр резьбы; P – рабочее усилие; μ_1 – коэффициент трения в резьбе; μ_2 – коэффициент трения под фланцем; D – диаметр фланца под гайкой; d_1 – диаметр отверстия под стальной болт.

При воздействии крутящего момента в стержне болта возникает одноосное напряженное состояние, при котором усилие затяжки болта и механическое напряжение металла связаны между собой соотношением:

$$\sigma = \frac{4F}{\pi d^2} = \frac{M}{S k_2} \quad (3)$$

где S – площадь поперечного сечения стального стержня; k_2 – постоянная.

Разработчики индикатора механического напряжения рассматривают два режима затяжки стального болта:

- режим затягиваемого болта;
- режим затянутого болта.

В работе [1] получены аналитические зависимости напряженности поля остаточной намагниченности (НПОН) металла стержня от величины момента затяжки M для указанных режимов затяжки, которые имеют следующий вид:

- для затягиваемой стальной шпильки (болта)

$$H_r(M) = \frac{H_{r0}}{1 + \frac{k_1 M}{k_2 S}} \quad (4)$$

где постоянная $k_1 = \frac{2\mu_0 \lambda_s H_{r0}}{(B_s^2 - B_0^2) \Gamma \Gamma H_{c0}}$.

- для затянутой стальной шпильки

$$H_r(M) = H_{r0} \left(1 + \frac{k_1 M}{k_2 S} \right) \quad (5)$$

где постоянная $k_1 = \frac{\lambda_s}{\mu_0 N J_s^2}$.

Графическое представление зависимости НПОН от крутящего момента в соответствии с формулами (4) и (5) представлено на рис. 1.

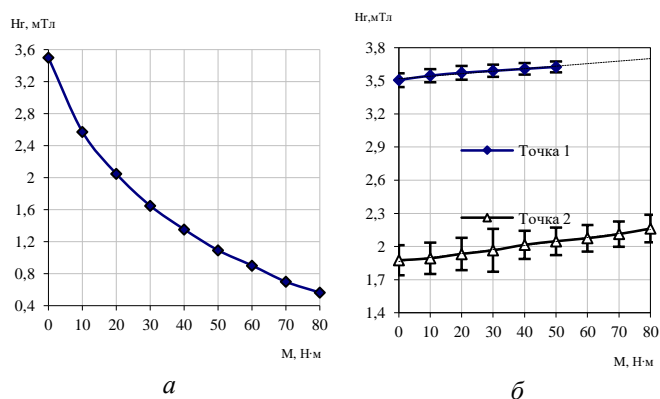


Рис.1. Зависимость напряженности поля остаточной намагниченности металла затягиваемого (а) и затянутого (б) стального болта от момента затяжки

Как видно из графика (рис. 1, а) для затягиваемой шпильки с увеличением крутящего момента НПОН монотонно уменьшается, затем при приближении напряжения к пределу текучести снижение существенно замедляется. В этом случае, как известно, достигается оптимальное значение усилия затяжки.

Для затянутой шпильки (рис. 1, б) происходит монотонное возрастание НПОН металла стального стержня при возрастании M .

Магнитный контроль усилия затяжки в режиме затягиваемого стального болта имеет более высокую чувствительность, чем в режиме затянутого стального болта: НПОН (в первом случае уменьшается более чем в 6 раз, в то время как величина НПОН в режиме затянутого стального болта увеличивается приблизительно на 15 %.

На рис. 1, б показаны также зависимости, полученные для двух точек 1 и 2, которые располагаются на разных поверхностях болта: точка 1 расположена над торцевой поверхностью стального болта, точка 2 – на боковой по-

верхности стержня болта. Данные зависимости показывают, что значения НПОН для двух точек имеет разные значения, но характер изменения H_r от крутящего момента идентичен для этих точек. Это свидетельствует о том, что замеры можно производить на разных поверхностях, в зависимости от того, какая из них наиболее доступна, что также расширяет область применения данного метода. Доказано также, что линейные размеры стального болта не влияют на результаты магнитного контроля.

Значения НПОН зависят от магнитных свойств металла, от геометрических параметров стальной шпильки, болта, а также от линейных размеров намагничивающего устройства стержневого типа.

Анализ формул 4 и 5 показывает, что применение данного метода может также установить повреждения металла стального стержня, которые связаны с уменьшением площади поперечного сечения металла S . В этом случае увеличение крутящего момента M при затяжке стальной шпильки должно приводить к более значительному изменению НПОН металла по сравнению с эталонной зависимостью.

Для количественной оценки усилия затяжки стального стержня необходимо иметь предварительно полученные на образцах для каждого типоразмера контролируемой стальной шпильки (болта) экспериментальные (эталонные) зависимости НПОН металла от величины крутящего момента.

В работе [1] эталонные зависимости получены только для одного типоразмера болта – М12 и конструкционных материалов Ст3, ВСт3сп, 09Г2С, 17Г1С.

Поэтому весьма актуально продолжение научных исследований, посвященных получению эталонных зависимостей для различных типоразмеров и материалов стальных болтов (шпилек), а также изучению влияния различных факторов, которые могут влиять на магнитные свойства образцов и соответственно на НПОН. Это позволит в дальнейшем фиксировать отклонения усилия затяжки от расчетных значений и идентифицировать различные повреждения болтов (шпилек).

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ИНДИКАТОРА МЕХАНИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ МЕТАЛЛА ИН-01М

Индикатор механического напряжения металла ИН-01м является портативным устройством. В основе работы лежит зависимость напряженности поля остаточной намагниченности металла от механического напряжения деформированного (затянутого) или деформируемого (затягиваемого) стального изделия.

Индикатор механического напряжения металла ИН-01м работает следующим образом. Сначала необходимо затянуть стальной болт с помощью динамометрического ключа, приложив незначительный момент силы (например, около 10 Нм). Далее намагнитить торцевую поверхность стержня стального болта, установив магнитный полюс стержневого намагничивающего устройства и плавно удалив его от торцевой поверхности в вертикальном направлении.

Затем необходимо установить преобразователь 3 на середину торцевой поверхности болта и зафиксировать показания НПОН с жидкокристаллического дисплея электронного блока 2 (в мТл). Увеличить затяжку стального

болта с помощью динамометрического ключа на величину 10 Нм. Для режима затянутого болта повторить операции, начиная с намагничивания торцевой поверхности до достижения наибольшей величины механического напряжения металла стального болта.

Контроль усилия затяжки для режима затягиваемого болта отличается тем, что намагничивание осуществляется только в начальный момент проведения замеров без последующего повторного намагничивания.

Для количественной оценки усилия затяжки на основе показаний индикатора и величины момента силы, приложенного при затяжке, строится график зависимости НПОН затянутого или затягиваемого стального болта от момента силы, который сравнивается с эталонным и делается вывод, перетянут или недотянут данный болт, имеются ли повреждения и т.д.

Если не имеется эталонной зависимости, то можно провести качественный анализ равномерности затяжки болтов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ ПРИБОРА ИН-01М ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УСИЛИЯ ЗАТЯЖКИ БОЛТОВ ВО ВРЕМЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ

Предварительные испытания проводились для того, чтобы:

- подтвердить возможность применения индикатора механических напряжений во время эксплуатации оборудования для проведения исследования усилия затяжки;
- провести качественные исследования усилия затяжки на всех контролируемых болтах фланцевых соединений реальных объектов.

Исследования проводились на одном из предприятий Башкортостана на биологических реакторах БИОР № 6, 7, 8, 9, 10, БР-4. Рабочая температура БИОР №7 составляла 110 °С, остальные реакторы работали при комнатной температуре.

Измерения проводили на плоских крышках реакторов (БИОР №6, 7, 8, 9, 10), а также на крышке люка-лаза реактора БР-4. Рассматриваемое оборудование и крепежные элементы выполнены из материала 12Х18Н10Т. На реакторах БИОР №6, 7, 8, 9, 10 установлены болты диаметром М20 с шагом резьбы 2,5; на БР-4 – болты диаметром М24 с шагом резьбы 3.

Качественная оценка результатов магнитного контроля усилия затяжки осуществлялась из-за отсутствия к моменту испытаний предварительно полученной кривой $H_r - (M)$ для марки стали, из которых были изготовлены контролируемые стальные болты. Было принято, что все показания индикатора механического напряжения металла ИН-01м, которые выше +20% от среднего значения, соответствуют чрезмерному усилию затяжки, показания ниже -20% от среднего значения – пониженному усилию затяжки стальных болтов реакторного оборудования.

В данной научно-исследовательской работе замеры проводились в режиме затянутой стальной шпильки, болта.

Перед проведением исследования болтам был присвоен определенный номер.

Визуальное обследование болтов показало, что некоторые болты имеют отверстия на поверхности, а у других отверстия отсутствуют.

Результаты замеров были обработаны и проанализированы в виде таблиц. В качестве примера приведена табл. 1 для одного из реакторов, а графическое представление для исследованных болтов БИОР №6, 7, 8 показано на рис. 2, БИОР №9, 10 и БР-4 – на рис. 3.

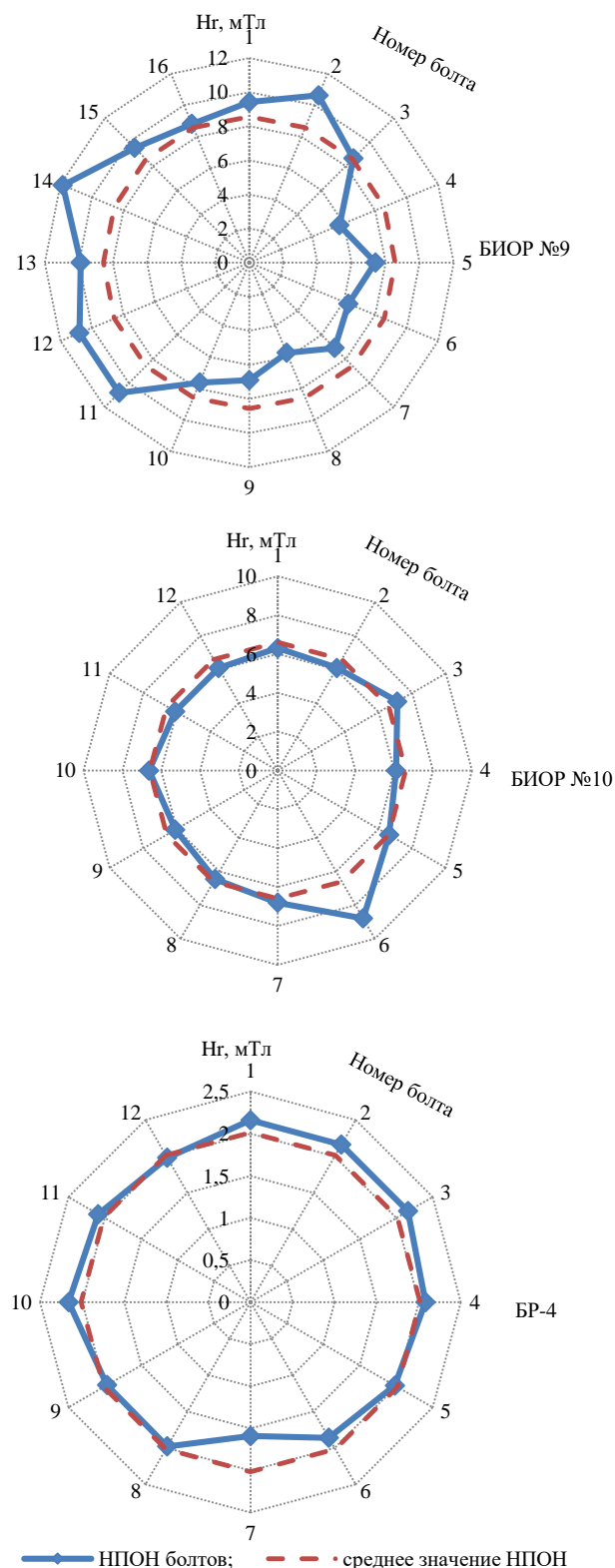
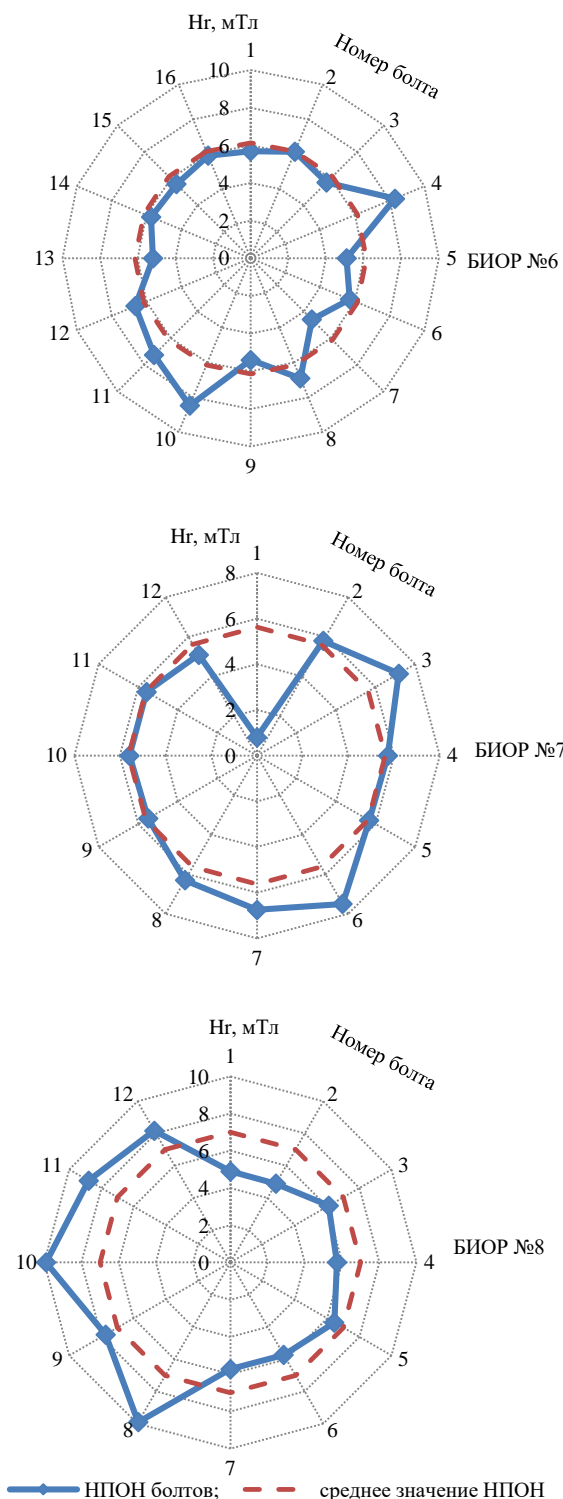


Рис. 3. Показания индикатора механического напряжения металла ИН-01м на стальных болтах крепления крышек биореакторов БИОР № 9, 10, БР-4

Анализ значений, приведенных рис. 2 и рис. 3, показал, что в основном наблюдается равномерная затяжка болтов, т.к. отклонение усилия затяжки от среднего значения не превышает 20 %.

Таблица 1
 Результаты замеров напряженности поля остаточной намагниченности болтов БИОР №6

Номер болта	Hr , мТл	Наличие отверстия	δ , %
1	5,7	+	7,22
2	6,13	+	0,22
3	5,7	+	7,22
4	8,3	+	35,1
5	5,1	+	16,99
6	5,7	+	7,22
7	4,6	+	25,13
8	6,9	+	12,31
9	5,4	+	12,11
10	8,47	-	37,86
11	7,26	+	18,17
12	6,63	+	7,92
13	5,19	+	15,52
14	5,73	+	6,73
15	5,58	+	9,18
16	5,91	+	3,81
Среднее значение	6,14		13,92

где Hr – напряженность поля остаточной намагниченности, δ – отклонение от среднего значения

Выявленные в процессе испытаний отклонения от средних значений объясняются, на наш взгляд, следующим:

- болт №1 у БИОР №7 выполнен из другого материала (выявлены слабые магнитные свойства), отличного от материала оборудования (материал реактора – сталь 12X18H10T);
- некоторые болты (например, болт №7 у БИОР №6, болты №4, 8 у БИОР №9, болты №6, 7 у БР-4) не дотянуты из-за труднодоступного расположения болтов для затяжки, связанные с наличием дополнительного оборудования (штуцера, трубопроводы). Наиболее сильное отклонение наблюдалось у БИОР №8. Поэтому было решено произвести дополнительную затяжку болтов №1 и 2 данного реактора, после которой напряженность поля остаточной намагниченности болта №1 составила 4,95; болта №2 – 5,04, что было близко к среднему значению;
- болт №10 у БИОР №6, болты № 8, 10-12 у БИОР №8, болты №1-3, 11-16 у БИОР №9, болт №6 у БИОР №10 имеют значения напряженности поля остаточной намагниченности выше остальных. Это можно объяснить отсутствием отверстия в стержне болта.

Выводы

Показано, что большинство традиционных методов контроля усилия затяжки фланцевых соединений применимо, в основном, на стадии монтажа или сборки оборудования, кроме того имеют либо большую погрешность измерений или ограниченную область применения.

Для контроля и измерения усилия затяжки болтов (шпилек) как в цеховых, так и в полевых условиях, а так-

же как на стадии сборки (монтажа) оборудования, может быть применен индикатор механического напряжения металла ИН-01м, основанный на магнитном методе измерения напряжений.

Предварительные испытания индикатора ИН-01м, проведенные на производственных объектах во время их эксплуатации, показали, что данный прибор может быть использован для контроля усилия затяжки на различных стадиях жизненного цикла объекта. Это позволит обеспечить качество сборки изделий, как на этапе монтажа оборудования, так и при реализации технологического процесса, тем самым уменьшится отклонение усилия затяжки болтов от оптимального значения, обеспечивающего их нормальную работу, повысится надежность и долговечность эксплуатации таких соединений.

Необходимо продолжить теоретические и экспериментальные исследования, направленные на получение калибровочных (эталонных) зависимостей поля остаточной намагниченности в зависимости от различных факторов (материала и размеров крепежных деталей, условий эксплуатации (температуры и др.)), дефектов резьбовых соединений и других факторов, которые могут влиять на магнитные свойства объектов. Это необходимо для того, чтобы расширить область применения прибора и усовершенствовать методику его применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Загидулин Т.Р. Исследование и разработка метода локального магнитного контроля напряженно-деформированного состояния металла элементов корпусного оборудования и металлоконструкций: дис. ... канд. техн. наук. – Уфа, 2015. – 134 с.
2. Шулепов А.П. Определение точностных характеристик методов контроля усилия затяжки резьбовых соединений. / А.П. Шулепов, А.И. Хаймович. – Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет, 2010. – 18 с.
3. Кузев И.Р. Оценка адаптивных свойств металла по изменению его магнитных характеристик для определения ресурса безопасной эксплуатации нефтегазового оборудования / И.Р. Кузев, Е.А. Наумкин, О.Г. Кондрашова // Нефтегазовое дело. – 2006. – Т. 4, №2. – С. 124-133.
4. Самигуллин А.В. Расчетно-экспериментальное определение предельного состояния материала оболочковой конструкции, подверженного малоцикловому нагружению / А.В. Самигуллин, Е.А. Наумкин, И.Р. Кузев // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2014.– №5. – С. 404-419. DOI: 10.17122/ogbus-2014-5-404-419
5. Generation of the response electromagnetic signal in the process of destruction of shell structures / I.R. Kuzeev, E.A. Naumkin, A.N. Tepsaev et al. // SOCAR Proceedings. – 2015. – is. 4. – P. 75-80. DOI: 10.5510/OGP20150400264
6. Electromagnetic method of diagnosis in problems of operation safety assurance and evaluating the service life of equipment at petrochemical and petroleum-processing plants / M.G. Bashirov, M.I. Kuzeev, I.R. Kuzeev et al. // Bezopastnost Truda v Promyshlennosti. – 2004. – is. 2. – P. 49-54.
7. Крылов Ю.В. Слесарные и слесарно-сборочные работы. – Л.: Лениздат, 1987. – 270 с.

Magnetic inspection for assessing the uniformity of flange joints bolt tightening

Tukaeva R.B., Prokhorov A.A., Miniakhmetov O.Yu.

Ufa State Petroleum Technological University

Ufa, Russian Federation

tukaeva_rb@mail.ru

Abstract. Flange joints refer to the most widespread detachable joints used in various industries. Such joints should be strong, durable and leak proof. Compliance with these requirements depends largely on the uniformity of bolt tightening. In flange joints it is necessary to provide that all bolts (pins) are tightened with equal force. Nonuniformity of bolt tightening could lead to different negative consequences, for example, to the lack of parts alignment, irregular gasket compression and as a result leaking of the product, disalignment of connected details, origination of fastening details plastic deformations and even breakage of bolts or pins. That is why control of steel pins and bolts tightening force is very important for the provision of joint reliability and not only during assembly and installation of units and details of any other equipment but also during its operation. The present article is devoted to studying and testing of one of modern and universal methods of bolt (pin) tightening force control – magnetic inspection based on structure-sensitive magnetic parameter control – remaining magnetic induction of the metal. The aim of the present studies is to test the metal mechanical stress indicator ИИ-01М of scanning type used at real facilities for measuring pin tightening force during operation.

Keywords: flange joint, bolt, pin, tightening force, magnetic method, mechanical stress indicator, remaining magnetic induction field strength.

REFERENCES

1. Zagidulin T.R. *Issledovanie i razrabotka metoda lokal'nogo magnitnogo kontrolya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya metalla elementov korpusnogo oborudovaniya i metallokonstruktsiy: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Research and development of a method of local magnetic control of the stress-strain state of the metal of the elements of body equipment and metal structures: dis. Cand. tech. sciences], Ufa, 2015, 134 p. (in Russ.)

2. Shulepov A.P., Haimovich A.I. *Opreделение tochnostnykh kharakteristik metodov kontrolya usiliya zatyazhki rez'bovykh soedineniy* [Determination of the accuracy characteristics of methods for monitoring the tightening force of threaded connections], Samara, Samara State Aerospace University, 2010, 18 p. (in Russ.)

3. Kuzeev I.R., Naumkin E.A., Kondrashova O.G. Assessment of adaptive properties of a metal by changing its magnetic characteristics to determine the resource for safe operation of oil and gas equipment [Otsenka adaptivnykh svoystv metalla po izmeneniyu ego magnitnykh kharakteristik dlya opredeleniya resursa bezopasnoy ekspluatatsii neftegazovogo oborudovaniya], *Neftegazovoe delo [Petroleum Engineering]*, 2006, Vol. 4, no.2, pp. 124-133. (in Russ.)

4. Samigullin A.V., Naumkin E.A., Kuzeev I.R. Computational and experimental definition of limit state of the material of shell structures subjected to low-cycle loading [Raschetno-eksperimental'noe opredelenie predelnogo sostoyaniya materiala obolochkovoy konstruktssii, podverzhennogo malotsiklovomu nagruzheniyu], *Neftegazovoe delo [Petroleum Engineering]*, 2014, no.5, pp. 404-419. (in Russ.)

5. Kuzeev I.R., Naumkin, E.A., Tepsaev A.N. et al. Generation of the response electromagnetic signal in the process of destruction of shell structures, *SOCAR Proceedings*, 2015, is. 4, pp. 75-80. DOI: 10.5510/OGP20150400264

6. Bashirov M.G., Kuzeev M.I., Kuzeev I.R. et al. Electromagnetic method of diagnosis in problems of operation safety assurance and evaluating the service life of equipment at petrochemical and petroleum-processing plants, *Bezopastnost Truda v Promyshlennosti*, 2004, is. 2, pp. 49-54.

7. Krylov Yu.V. *Slesarnye i slesarno-sborochnye raboty* [Locksmithing and assembly work], Leningrad, Lenizdat, 1987, 270 p. (in Russ.)

Библиографическое описание статьи

Тукаева Р.Б. Магнитный метод контроля для оценки равномерности затяжки болтов фланцевых соединений / Р.Б. Тукаева, А.А. Прохоров, О.Ю. Миниахметов // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2018. – Т.6, №2. – С. 26-31. DOI: 10.24892/RIJIE/20180204

Reference to article

Tukaeva R.B., Prokhorov A.A., Miniakhmetov O.Yu. Magnetic inspection for assessing the uniformity of flange joints bolt tightening, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2018, vol.6, no.2, pp. 26-31. DOI: 10.24892/RIJIE/20180204