

ВИХРЕТОКОВЫЙ КОНТРОЛЬ РЕЗЬБЫ ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

УДК 620.179.147

М.Ю. КОРОТЕЕВ
П.В. СОЛОМЕНЧУК

Ведущий специалист, генеральный директор, ЗАО «КОНСТАНТА»
Аспирант, ведущий специалист, ЗАО «КОНСТАНТА»

Санкт – Петербург
km@constanta.ru

M. JU. KOROTEEV
P. V. SOLOMENCHUK

Lead specialist, Director JSC «CONSTANTA»
Postgraduate student, Lead specialist JSC «CONSTANTA»

Saint-Petersburg

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Контроль резьбы, вихретоковый, трещины в резьбе, тангенциальный, неразрушающий контроль

KEYWORDS:

Thread inspection, eddy current, crack in the thread, non-destructive testing

В статье описан способ неразрушающего контроля резьбы оборудования нефтегазовой отрасли с применением вихретокового дефектоскопа с преобразователем тангенциального типа. Описана методика обнаружения и измерения глубины трещин, расположенных во впадине резьбы.

The method of nondestructive thread inspection of the oil-gas branch equipment with application of Eddy Current Flaw Detector with the tangential probe is described in the article. The technique of detection and measurement of crack depth which are located in a root of thread is presented.

Резьбовые соединения – наиболее распространенный вид разъемных соединений с помощью различных крепежных деталей, обеспечивающих относительную неподвижность соединяемых элементов.

Для соединения деталей технологического оборудования применяется цилиндрическая метрическая резьба, для соединения трубопроводов чаще применяется коническая резьба с шагом измеряемым в дюймовой системе.

Необходимость проведения контроля резьбы неразрушающими методами прописана в нормативных документах, например [1], [2] и [3]. Трещины считаются наиболее опасными дефектами резьбы, поскольку при эксплуатации резьбового соединения они могут развиваться и привести к поломке. По этой причине наличие трещин в резьбе не допускается.

На Рис.1 приведен эскиз профиля резьбы с указанием места возникновения трещин.

По результатам анализа нормативных документов [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12] произведена систематизация типов и размеров резьбы, часто применяемой в нефтегазовом хозяйстве. В сильно нагруженных соединениях чаще всего применяются резьбы с диаметром от 20 мм и шагом от 2 мм. Параметры резьбы, часто применяемой в нефтегазовом оборудовании, приведены в табл.1.

Профиль резьбы представляет собой винтовую канавку треугольной формы. Особенности конструкции резьбовых соединений учитывают большие статические и динамические нагрузки, возникающие при их эксплуатации, при этом переменный по высоте профиль резьбы создает естественные концентраторы механических напряжений.

На рис. 2 изображена расчетная эпюра напряжений по оси изделия с резьбой [13].

Деформация соединения на рис. 2 для наглядности показана в увеличенном в 54 раза виде. Видно, что напряжения во впадине первых трех витков резьбы трубы со стороны сбega могут приближаться к пределу текучести материала трубы.

Данные, полученные методом моделирования, подтверждают статистику отказов и выхода из строя насосно-компрессорных труб из-за разрушения резьбы вследствие возникновения и развития трещин в резьбе [14], [15].

В настоящее время для обнаружения трещин во впадине резьбы в основном применяются методы акустического и магнитного (магнитопорошковые и феррозондовые) видов неразрушающего контроля.

Недостатком ультразвуковых методов является относительно низкая чувствительность (порог чувствительности – трещина глубиной от 2 мм) [2].

Недостатками магнитопорошкового мето-

да являются необходимость намагничивания и субъективность контроля. Затруднен контроль внутренней резьбы, невозможна оценка глубины трещины.

Недостатком феррозондового метода является отсутствие возможности измерения размеров трещин, а так же трудности при контроле резьбы с мелким шагом и малым диаметром.

Также следует указать на необходимость применения расходных материалов, таких как контактная жидкость и ферромагнитный порошок или суспензия.

В связи с выше сказанным представляет интерес использование вихретокового вида неразрушающего контроля.

Вихретоковый вид неразрушающего контроля (НК) основан на анализе взаимодействия электромагнитного поля вихретокового преобразователя (ВТП) с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в объекте контроля (ОК).

Для обеспечения достоверности НК описанных выше объектов контроля средство НК должно иметь следующие характеристики:

- Порог чувствительности выявляемых трещин:
 - Глубина трещин $Z = 0,3$ мм;
 - Протяженность 2 мм;
 - Раскрытие свыше 0,002 мм;
- Диапазон измерения Z от 0,3 до 2 мм;
- Погрешность измерения глубины трещины, не более, $\pm(0,15Z+0,1)$ мм;
- Размер зоны контроля:
 - Длина: 2,5...3,2 мм;
 - Ширина: 0,7...1 мм.

Для обеспечения надежного контроля необходимо учесть следующие факторы:

- Трещины развиваются от впадины резьбы. Необходимо обеспечить наибольшую чувствительность ВТП к трещинам, расположенным во впадине резьбы.
- Высота профиля резьбы h_s на участке сбega конической резьбы переменная. Необходимо обеспечить отстройку от вариации h_s в диапазоне от 0 до h_s .
- Зазор h между ВТП и ОК переменный, обуславливается наличием загрязнений и остатков смазки резьбы. Необходимо обеспечить отстройку от изменения h в

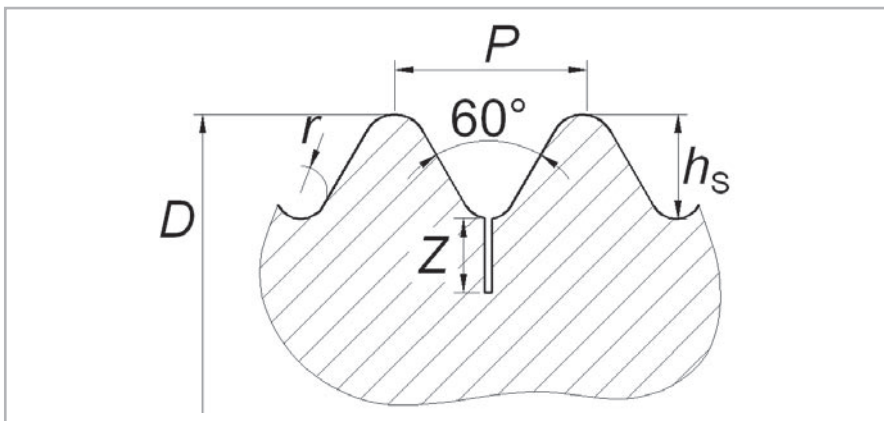


Рис.1. Эскиз профиля резьбы. P – шаг резьбы, h_s – высота профиля резьбы, r – радиус скругления впадины резьбы, Z – глубина трещины во впадине резьбы

	Резьба метрическая [6], [7]									
	Шаг резьбы, мм									
	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	8
D_{min} , мм	16	18	24	30	36	42	48	56	64	125
D_{max} , мм	200	22	280	33	400	45	52	60	600	600
r , мм	0,217	0,271	0,325	0,379	0,433	0,487	0,541	0,595	0,65	0,866
h_s , мм	1,08	1,35	1,62	1,89	2,17	2,44	2,7	2,98	3,25	4,33

	Трубопроводная резьба (нефтегазовая) [12]				Резьба насосно-компрессорных и обсадных труб [12]		Замковая резьба бурильных колонн [10], [11]				
	Шаг резьбы, витков на 24,5 мм				Шаг резьбы, мм		Условный номер резьбы				
	18	14	11.5	8	2,54	3,175	I	II	III	IV	V
D_{min} , мм	12,587	19,884	31,634	70,485	32,065	64,148	60,08	132,944	142,011	27	142,646
D_{max} , мм	16,016	25,219	58,558	505,406	85,944	118,916	115,113	194,731	183,488	128,059	196,621
r , мм	0,056	0,072	0,088	0,127	0,432*	0,508*	0,508*	0,635*	0,635*	0,965*	0,965*
h_s , мм	1,072	1,376	1,679	2,413	1,412	1,81	2,993	3,742	3,755	3,095	3,083

Табл.1. Параметры часто применяемой в нефтегазовом оборудовании резьбы.

* – Размер оговорен в соответствующем ГОСТ.

диапазоне от 0 до 0,2 мм.

- Материал ОК имеет разброс относительной магнитной проницаемости μ в пределах $\pm 10\%$ от детали к детали (в пределах одной марки стали) и разброс μ по поверхности одной детали $\pm 3\%$. Необходимо обеспечить отстройку от μ в указанных диапазонах.

Для анализа характеристик ВТП удобно использовать следующие параметры:

- Безразмерный обобщенный параметр β ;
- R – эквивалентный радиус круговой обмотки
- f – частота тока возбуждения ВТП,

На Рис. 3 изображен ВТП с круговой обмоткой, расположенный над впадиной резьбы.

Для ВТП с круговой обмоткой (рис.2), ось которой перпендикулярна поверхности ОК, обобщенный параметр β вычисляется по формуле:

$$\beta = R\sqrt{2\pi f \sigma \mu \mu_0} \quad (1)$$

где,

- σ – электропроводность ОК,
- μ – относительная магнитная проницаемость ОК,
- μ_0 – магнитная постоянная.

Практика показывает [16, стр. 75] что для эффективного применения ВТП с целью

контроля поверхности ОК из ферромагнитных сталей следует применять ВТП с параметрами, обеспечивающими $\beta \approx 50$.

ВТП с круговой обмоткой, обеспечивающий указанное значение β с диаметром зоны контроля порядка 0,7 мм должен иметь $R \sim 0,25$ мм и $f \sim 5$ МГц. При этом диапазон отстройки от h будет составлять не более $0,1 \cdot R = 0,025$ мм, что недостаточно. Сигналы с измерительной обмотки такого ВТП будут иметь малые амплитуды, следовательно, средство НК будет подвержено влиянию электромагнитных помех. Изготовление такого ВТП технологически очень проблематично. В случае увеличения R до 1 мм расстояние от торца катушки до впадины резьбы будет не менее 1,4 мм (для резьбы с шагом 2,54 мм), при этом она будет касаться боковых поверхностей витка резьбы.

Модель картины вихревых токов ВТП с круговой обмоткой при $R = 1$ мм, $f = 0,7$ МГц, расположенного над впадиной треугольной резьбы с шагом 2,54 мм, выполненной из стали 35Х представлена на рис. 4. На цветовой шкале отложена плотность вихревых токов, a/m^2 .

Из рис. 4 видно, что наибольшая плотность вихревых токов наблюдается на вершинах и боковых сторонах резьбы, тогда как во впадине плотность вихревого тока значительно меньше. ВТП с круговой обмоткой

будет иметь малую чувствительность к трещинам во впадине резьбы и сильное влияние h_s . Также он будет чувствителен к нарушению симметрии его положения относительно витка резьбы.

Представляет интерес использование преобразователей с обмоткой возбуждения, повторяющей форму профиля впадины резьбы. На рис. 5 изображен ВТП с обмотками, повторяющими форму профиля резьбы, расположенными над впадиной резьбы тангенциально.

На рис. 6 представлена модель картины вихревых токов ВТП с обмоткой повторяющей форму профиля резьбы, расположенной тангенциально. Параметры изображенного ВТП: $f = 0,7$ МГц, эффективная площадь обмотки возбуждения $S = 0,75$ мм².

Из рис. 6 видно, что плотность вихревых токов наибольшая во впадине резьбы, тогда как на боковых сторонах и вершинах резьбы плотность вихревых токов значительно меньше.

Для расчета и анализа характеристик таких ВТП классические формулы, например (1), не применимы. Вместо радиуса круговой обмотки следует использовать эффективную площадь обмотки возбуждения сложной формы.

$$\beta_T = \sqrt{2Sf \sigma \mu \mu_0} \quad (2)$$

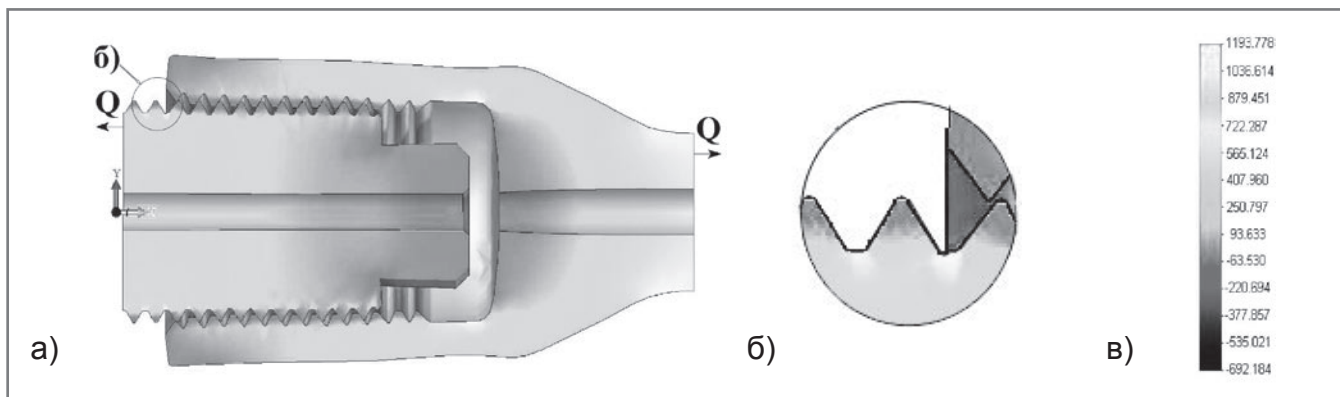


Рис. 2. Эпюра напряжений по оси резьбы: а) общий вид; б) зона наибольшей концентрации напряжений; в) цветовая шкала напряжений, МПа.

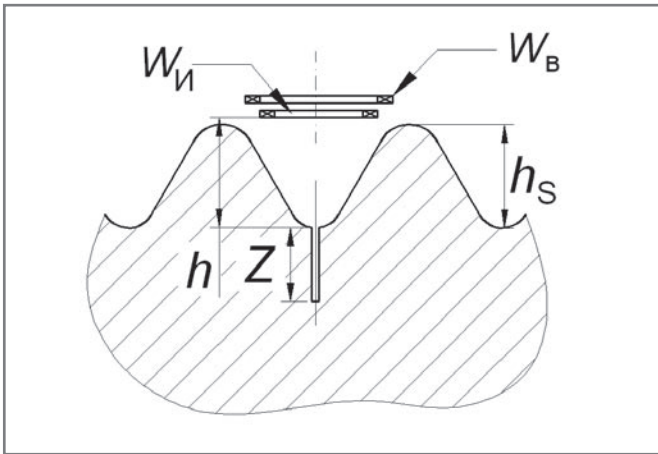


Рис. 3. ВТП с круговой обмоткой над впадиной резьбы.
 $W_{И}$ – обмотка измерительная, $W_{В}$ – обмотка возбуждения.

Где β_T – обобщенный параметр для ВТП с обмоткой возбуждения произвольной формы,

S – эффективная площадь обмотки возбуждения произвольной формы.

Очевидно, что для проведения НК, аналогично, как и в случае с ВТП с круговыми обмотками, следует обеспечить $\beta_T \approx 50$.

Частота тока возбуждения ВТП с обмоткой возбуждения, расположенной тангенциально, обеспечивающего требуемое значение β_T , рассчитывается по формуле:

$$f = \frac{\beta_T^2}{2S\sigma\mu_0} \quad (3)$$

Для ВТП, представленного на Рис. 6, $f \approx 740$ кГц.

Для обнаружения поверхностных дефектов целесообразно использовать ВТП, реализующий фазовый метод НК [17, стр. 497].

На рис. 7. приведена структурная схема вихретокового трансформаторного скомпенсированного фазового преобразователя, с электрической схемой балансировки.

На обмотку $W_{В}$ подается синусоидальное напряжение возбуждения $u_s(t)$ частотой f , сформированное ЦАП и ФНЧ1 и усиленное усилителем У1.

Обмотки $W_{К}$ и $W_{И}$ подключены к резисторам балансировочной схемы в противофазе. Установкой положения движка подстроечного резистора $R1$ выбирается необходимый баланс между напряжением на измерительной

и компенсационной обмотке, тем самым обеспечивается отстройка от h . Разностное напряжение $\dot{U}_{разн}$ через усилитель У2 подается на фазовый детектор ФД. Опорным напряжением фазового детектора служит напряжение возбуждения $u_s(t)$. Постоянное напряжение $U_{\Delta\phi}$ на выходе ФНЧ2, подключенного к фазовому детектору ФД, пропорционально разности фаз $\Delta\phi$ напряжений $u_{В}(t)$ и $\dot{U}_{разн}$. Постоянное напряжение $U_{\Delta\phi}$ подается на АЦП микроконтроллера, где преобразуется в цифровой код. Цифровой код передается по цифровому интерфейсу UART по соединительному кабелю в блок обработки информации.

Изменение параметров объекта контроля, таких как μ , σ , наличие дефекта и Z , h_s , а так же изменение условий контроля, таких как h или пр. приводит к изменению амплитуды и фазы напряжения $\dot{U}_{разн}$.

На рис.8 представлена зависимость $\Delta\phi$ от Z при различных значениях h .

Из рис.8 видно, что во всем диапазоне глубин дефектов обеспечивается приемлемая чувствительность, позволяющая с учетом погрешности измерения разности фаз $\Delta\phi$ схемы обеспечить абсолютную погрешность измерения Z на уровне ± 15 мкм в нормальных условиях ($P = 2,54$ мм, $h_s = 1,412$ мм, $h = 0,2$ мм; μ постоянная).

Изменение мешающих параметров будет вызывать появление дополнительной погрешности измерения ΔZ . На рис.9 представлена зависимость $\Delta\phi$ от h .

Из рис.9 видно, что изменение h в диапазоне от 0,1 до 0,4 мм влияет на $\Delta\phi$ пренебрежимо мало, $\Delta Z(h) \approx \pm 0,03$ мм. В диапазоне от 0,4 до 0,6 мм изменение h на каждые 0,1 мм приводит к $\Delta Z(h) \approx \pm 0,3$ мм, что говорит о том, что в указанном диапазоне h возможно проведение контроля при условии постоянства величины h . При h свыше 0,6 мм и менее 0,1 мм изменение h приводит к такому сдвигу фазы $\Delta\phi$, который может привести к ложным сигнализациям дефекта или к вероятности пропуска дефекта. Можно говорить о том, что ВТП работоспособен при h от 0,1 до 0,6 мм.

На рис.10 а) представлена дефектограмма сканирования контрольного образца трубы $D = 60,3$ мм, $P = 2,54$ мм, резьба коническая, протяженность сбега резьбы 12,7 мм, h_s переменная от 1,412 мм до 0, с четырьмя искусственными дефектами $Z=0,3$ мм, $Z=0,5$ мм, $Z=1$ мм, $Z=2$ мм. Для наглядности под дефектограммой изображен эскиз профиля резьбы, рис. 10 б).

На рис.10 а) отчетливо видны зоны влияния изменения h_s и наложенные на них участки влияния локального изменения μ . Изменение μ по всей протяженности пути сканирования контрольного образца приведет к $\Delta Z(\mu) \approx \pm 0,15$ мм. Изменение h_s с 1,412 мм до 0,5 мм приведет к $\Delta Z(h_s) \approx 0,25$ мм, впрочем поскольку изменение h_s имеет предсказуемый и плавный характер – применение динамического режима сканирования позволяет уменьшить $\Delta Z(h_s)$. На рис.11

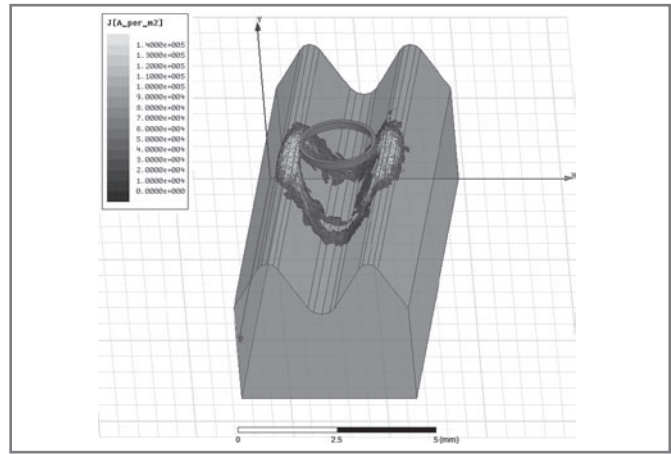


Рис. 4. Модель картины вихревых токов ВТП с круговыми обмотками, расположенного над впадиной треугольной резьбы.

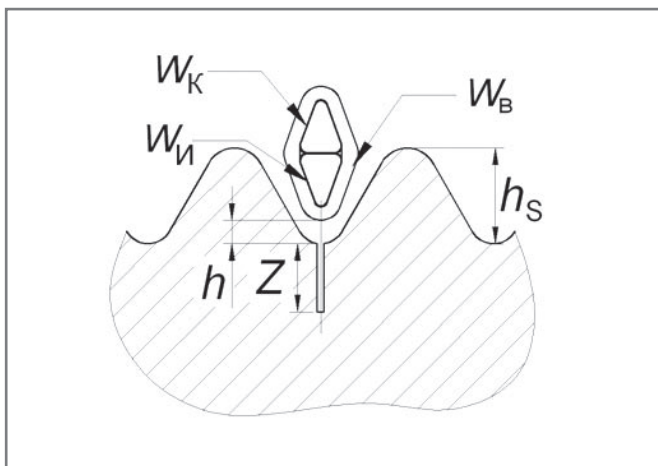


Рис. 5. ВТП с обмотками, повторяющими форму профиля резьбы, расположенными над впадиной резьбы тангенциально.
 $W_{И}$ – обмотка измерительная, $W_{К}$ – обмотка компенсационная, $W_{В}$ – обмотка возбуждения.

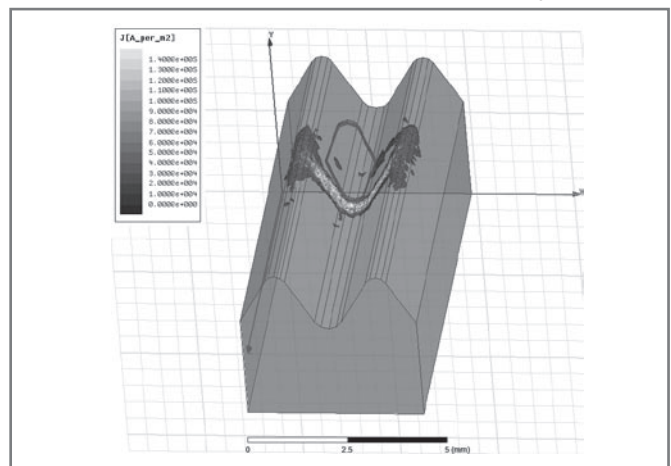


Рис. 6. Модель картины вихревых токов ВТП с обмоткой возбуждения, повторяющей контур профиля впадины резьбы.

представлена дефектограмма сканирования контрольного образца в динамическом режиме. Параметры динамического режима: ФВЧ линейный первого порядка, частота среза ФВЧ $f_{cp} = 1$ Гц, линейная скорость сканирования $V_k = 100$ мм/с.

Из рис.11 видно, что с применением динамического режима $\Delta Z(h_s) \approx 0,1$ мм.

Для уменьшения влияния геометрических мешающих параметров, следует применять удерживающие приспособления – каретки, позволяющие стабилизировать условия контроля [17, стр. 478].

Описанный способ вихретокового контроля реализован в ВТП для дефектоскопа «Константа ВД1» ПФ-Р1-0,5х3-Fe и ПФ-Р2-0, 5х3-Fe. Для них разработаны каретки ККТ-1 и ККТ-2 соответственно. Внешний вид кареток с ВТП представлен на рис. 12.

Колеса кареток, обеспечивающие позиционирование ВТП относительно впадины резьбы, опираются на боковые стороны резьбы, рис.13. Это обусловлено тем, что опора колес на другие конструктивные элементы резьбы не обеспечит надежного позиционирования ВТП на всем перечне типов резьбы.

Весь диапазон шагов резьбы разбит на 2 группы, каждая каретка предназначена на свою группу шагов резьбы. ККТ-1 – для резьбы с шагом от 2 мм до 3,5 мм; ККТ-2 – для резьбы с шагом от 4 мм до 8 мм. Обе каретки позволяют контролировать как внутреннюю, так и наружную резьбу.

Дефекты резьбы могут возникать как в процессе изготовления детали, так и при эксплуатации изделия с резьбовым соединением, при этом будет обеспечиваться различный порог чувствительности средства НК Z_{min} .

Дефекты резьбы, возникающие на этапе изготовления, могут быть обусловлены качеством заготовки (плены, раскатанные включения и трещины, закалочные трещины) или возникнуть в процессе деформации (раковины, заусенцы, подрезы, и трещины напряжения). При обнаружении трещин в деталях после их изготовления характерны следующие особенности: поверхность резьбы ровная, практически без загрязнений. Закалочные трещины и трещины напряжения могут быть обнаружены по всей длине резьбы. Как следствие при ручном контроле $Z_{min} = 0,3$ мм.

Дефектами резьбы, возникающими при эксплуатации изделия с резьбовым соединением, являются задиры, сколы, заусенцы, усталостные трещины, рванины, срыв резьбы. Все перечисленные дефекты, кроме усталостных трещин, обнаруживаются визуально.

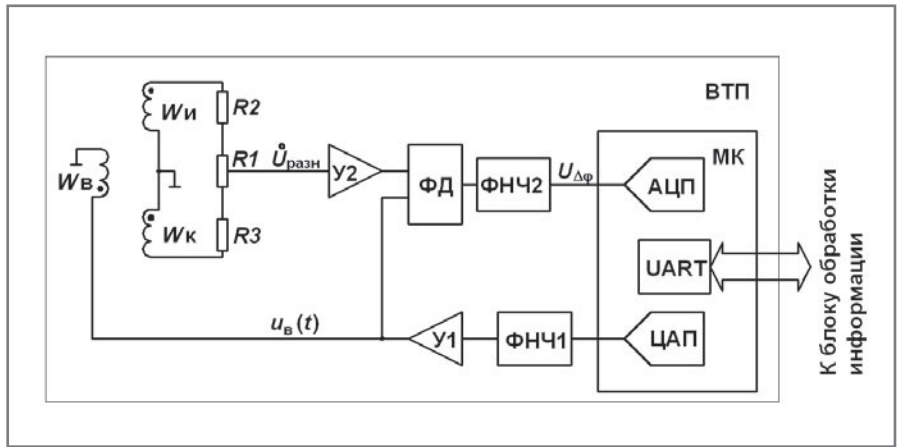


Рис. 7. Структурная схема вихретокового трансформаторного скомпенсированного фазового преобразователя с электрической схемой балансировки: W_n – обмотка возбуждения, W_k – измерительная обмотка, W_i – компенсационная обмотка, $R1$ – подстроечный резистор схемы балансировки, $R2, R3$ – постоянные резисторы схемы балансировки, $U1, U2$ – усилители, ФНЧ1, ФНЧ2 – фильтры низкой частоты, ФД – фазовый детектор, МК – микроконтроллер, содержащий ЦАП, АЦП и модуль интерфейса UART.

При обнаружении трещин в бывших в употреблении деталях характерны следующие особенности: поверхность резьбы часто загрязнена, наблюдается значительный разброс магнитных свойств стали по поверхности резьбы, усталостные трещины чаще обнаруживаются возле сбега резьбы. Как следствие при ручном контроле $Z_{min} = 0,5$ мм

На порог чувствительности так же влияет тип резьбы. Так при контроле конической резьбы, из-за влияния переменной h_s на участке сбега, при ручном контроле $Z_{min} = 0,5$ мм. При контроле цилиндрической резьбы h_s постоянна практически по всей длине резьбы, таким образом, влияние дополнительного мешающего параметра не оказывается и $Z_{min} = 0,3$ мм.

Следует отметить необходимость измерения глубины трещин.

Обнаружение дефекта – это регистрация сигнала ВТП, превышающего установленный порог. Значение сигнала, соответствующего дефекту определенной глубины должно быть подтверждено на контрольных образцах с искусственными дефектами.

Искусственные дефекты на контрольных образцах должны иметь определенные размеры с четко заданными допусками. Их размеры должны быть измерены методом прямых измерений.

Порог срабатывания сигнализации должен быть определен исходя из требований нормативной документации на НК, характеристик ОК и средства контроля, включая соотношение чувствительности

средства НК и влияния мешающих параметров.

Измерение глубины трещин позволяет помимо трещин обнаружить участки ОК с подозрением на трещины – те участки, на которые следует уделить особое внимание или провести контроль другим видом НК.

Так же измерение глубины трещин позволяет отслеживать процесс развития трещины и при острой необходимости продлевать ресурс ОК.

Для повышения производительности контроля, а так же для уменьшения влияния человеческого фактора целесообразно применять механизированную установку для контроля резьбы УКР-ВТ1, рис.14.

Установка УКР-ВТ1 позволяет контролировать детали вида тела вращения с резьбой, обеспечивать равномерную скорость контроля и надежную фиксацию ВТП над впадиной резьбы. Помимо этого, с применением цифрового ФВЧ дефектоскопа «Константа ВД1» возможно снижение Z_{min} до 0,3 мм при контроле конической резьбы.

Проведенные опытно-промышленные испытания преобразователей на нефтеперерабатывающем предприятии показали возможность их применения в данной области. На деталях технологического оборудования были обнаружены следующие дефекты: на резьбе М90х4 компрессорного вала бывшего в употреблении были обнаружены трещины глубиной 0,7 мм протяженностью 25 мм и

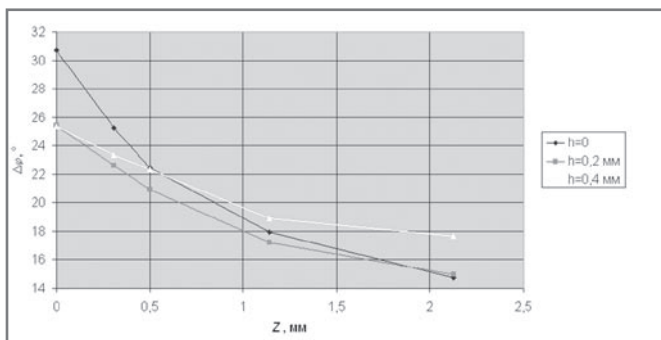


Рис.8. Зависимость $\Delta\phi$ от Z при $h=0; 0,2; 0,4$ мм

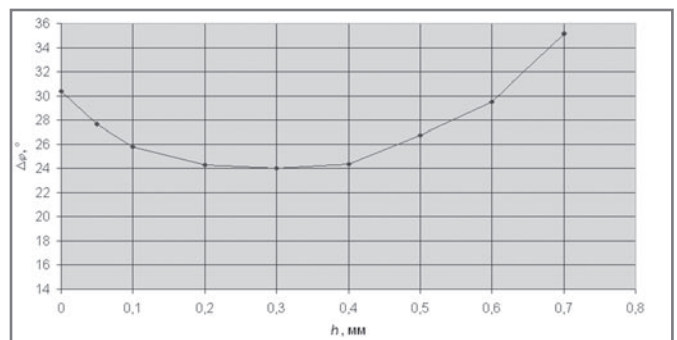


Рис.9. Зависимость $\Delta\phi$ от h .

глубиной 1,2 мм протяженностью 12 мм. На резьбе М56х3 шатунного болта бывшего в употреблении была обнаружена трещина глубиной 0,9 мм протяженностью 20 мм.

Выводы:

Предложенный способ возбуждения вихревых токов с помощью обмотки возбуждения, расположенной тангенциально позволяет значительно увеличить отношение сигнал/шум ВТП при контроле резьбы.

С применением разработанных ВТП возможно обнаружить трещины во впадине резьбы глубиной от 0,3 мм.

С применением двух ВТП обеспечивается контроль как наружной, так и внутренней резьбы практически всех доступных диаметров с шагом от 2 до 8 мм.

Метрологическое обеспечение контроля и измерение глубины трещины позволяют повысить объективность контроля, а так же применить методики продления ресурса контролируемых изделий.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

- 1 Общие технические условия по ремонту поршневых компрессоров. Министерство нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Волгоград 1985.
- 2 РД 39-2-787-82 Методика дефектоскопии концов бурильных труб.
- 3 ГОСТ Р 52203-2004 Трубы насосно-компрессорные и муфты к ним. Технические условия.
- 4 ГОСТ Р 53366-2006 Трубы стальные, применяемые в качестве обсадных или насосно-компрессорных труб для скважин в нефтяной и газовой промышленности. Общие технические условия.
- 5 ГОСТ 8724-2002 Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Диаметры и шаги.
- 6 ГОСТ 9150-2002 Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Профиль.
- 7 ГОСТ 24705-2004 Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Основные размеры.
- 8 ГОСТ Р 51906-2002 Соединения резьбовые обсадных, насосно-компрессорных труб и трубопроводов и резьбовые калибры для них, общие технические требования.
- 9 ГОСТ Р 53365-2009 Трубы обсадные и насосно-компрессорные и муфты к ним. Основные параметры и контроль резьбовых соединений.

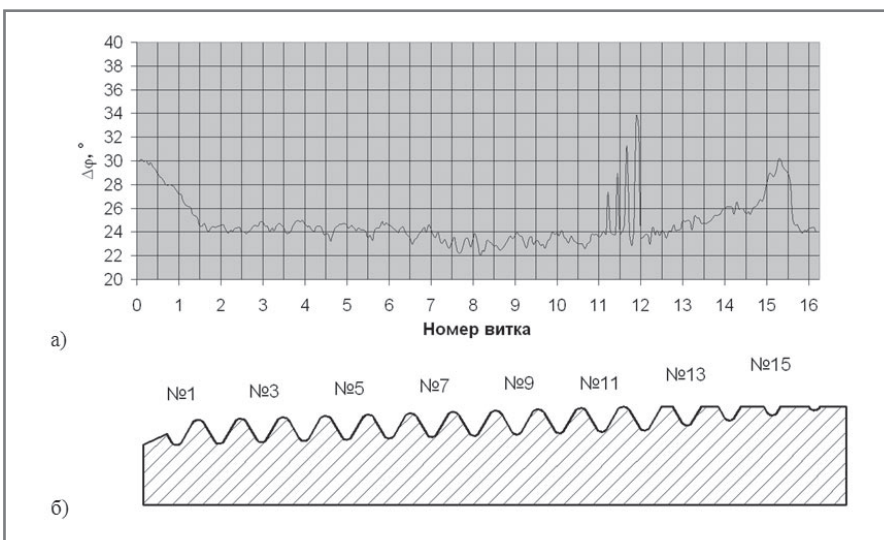


Рис.10. а) Дефектограмма сканирования контрольного образца с четырьмя искусственными дефектами. б) Эскиз профиля резьбы контрольного образца.

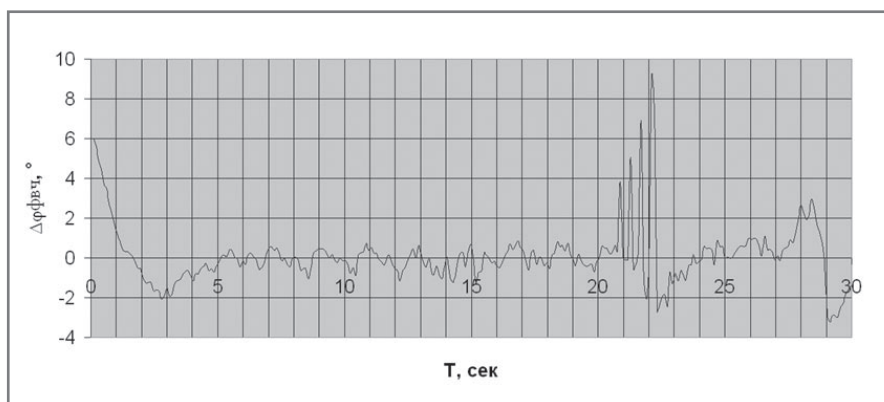


Рис.11. Дефектограмма сканирования контрольного образца в динамическом режиме.

- 10 ГОСТ Р 50864-96 Резьба коническая замковая для элементов бурильных колонн. Профиль, размеры, технические требования.
- 11 ГОСТ 28487-90 Резьба коническая замковая для элементов бурильных колонн. Профиль. Размеры. Допуски.
- 12 ГОСТ Р 51906-2002 Соединения резьбовые обсадных, насосно-компрессорных труб и трубопроводов и резьбовые калибры для них, общие технические требования.
- 13 Языков В.А. Конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния резьбового соединения. Технические науки. Вестник ТОГУ. 2007. № 1 (4).
- 14 Семин В.И. Современные методы проектирования резьбовых соединений труб нефтегазового сортамента для строительства скважин. Дис. д-ра техн. наук 25.00.15, 05.02.13 М, 2005.
- 15 Субботин С.С., Соколова Н.Г., Брюханов О.Ф., Михайленко В.И. Дефектоскопия нефтяного оборудования. М., «Недра», 1975 г., 264 с.
- 16 Потапов А.И. Сясько В.А. Неразрушающие методы и средства контроля толщины покрытий и изделий.
- 17 Неразрушающий контроль. Справочник в 8 томах под редакцией Ключева В.В. Том 2. М., «Машиностроение», 2006г., 687 с.

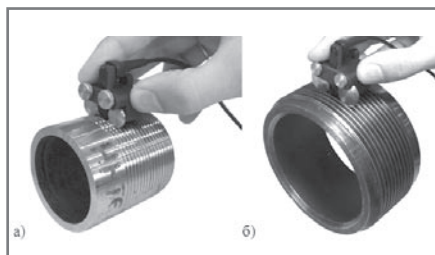


Рис. 12. Внешний вид кареток с ВТП на резьбе: а) каретка ККТ-1 с ВТП ПФ-Р1-0,5х3-Fe, б) ККТ-2 с ВТП ПФ-Р2-0,5х3-Fe.

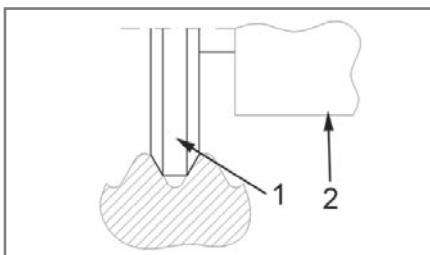


Рис. 13. Колесо каретки, опирающееся на боковые стороны резьбы. 1 – колесо каретки, 2 – корпус каретки.

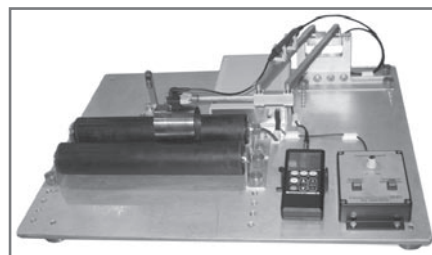


Рис.14. Механизированная установка для контроля резьбы УКР-ВТ1